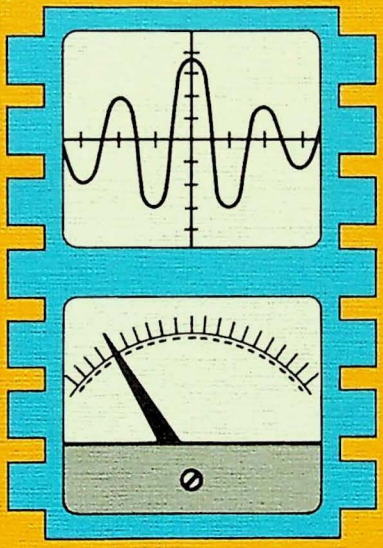
Gordian Sehrig

Meßgeräte mit IC's

Erprobte Schaltungsvorlagen zum Selbstbau vielseitig verwendbarer Meßgeräte

137

RPB
electronic-taschenbücher



Franzis'

RPB electronic-taschenbücher RPB
Titelverzeichnis

Jeder Einfach-Band umfaßt etwa 60–70 Seiten, enthält bis zu 70 Bilder und Tabellen. Mehrfach-Bände entsprechend. Die Nummer vor dem Titel ist die Bestell-Nummer. Preisänderungen und Liefermöglichkeiten vorbehalten.

Preise: Einfachband (•) DM 5.80; Doppelband (• •) DM 8.80; Dreifachband (• • •) DM 10.80.

4 • • Der Hobby-Elektroniker lernt messen (Nührmann) 2. Aufl.

5 • • Brand- und Einbruchmeldeanlagen (Bartels). 2. Auflage

6 • Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang (Mende). 15. Aufl.

8 • • • ABC der Elektronik-Orgel (Wuschek)

9 • • • Tonbandgeräte-Praxis (Junghans). 13. Aufl.

11 • • • Mikrofone (Kühne). 9. Aufl.

16 • • • Widerstandskunde für Elektroniker (Hoffmeister). 7. Aufl.

19 • • • Optoelektronik (Ratheiser/Pichler). 2. Auflage

20 • • Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern (Renardy/Lummer). 15. Aufl.

25 • • • Amateur-Funkfernschreibtechnik RTTY (Pietsch). 2. Aufl.

29 • • • Kleines ABC der Elektroakustik (Büscher). 7. Aufl.

30 • • • UHF-Amateurfunk-Antennen (Reithofer) 2. Aufl.

32 • • • DX-Vademecum (Best)

33 • • • Elektronische Voltmeter (Limann/Pelka)

34 • • • Von der Mengenlehre zur Schaltalgebra (Siegfried). 2. Auflage

38 • • • SSB- und ISB-Technik (Pelka). 2. Aufl.

40 • Fachwörter der Elektronik. 3. Aufl.

44 • • • KW- und UKW-Amateurfunk-Antennen (Diefenbach). 12. Aufl.

46 • • Sendertabelle (Schneider/Redlich). 4. Aufl.

50 • • Prakt. Antennenbau (Mende). 17. Aufl.

51 • • Kleine Fernseh-Bildfehler-Fibel (Gies/Kirsch). 3. Aufl.

53 • • • Elektroflug (Bruß). 2. Aufl.

54 • • • Schaltalgebra im Experiment (Kleemann)

56 • Der Hobby-Elektroniker ätzt seine Platinen selbst (Nührmann).

58 • • Morselehrg. (Diefenbach). 11. Aufl.

59 • • Funk-Entstörungs-Praxis (Mende). 6. Aufl.

60 • • Die Widerstand-Kondensator-Schaltung (Schneider). 7. Aufl.

64 • • Einführung in die Operationsverstärker-Technik (Hirschmann). 2. Aufl.

65 • • • Operationsverstärker-Anwendung (Hirschmann). 2. Auflage

68 • • • Kleine Elektronik-Formelsammlung (Rose). 15. Aufl.

69 • • Integrierte Schaltungen in Frage und Antwort (Hibberd). 2. Aufl.

70 • • • Laser, Maser, Hologramme (Ferretti)

73 • • Wie liest man eine Schaltung? (Benda). 3. Auflage

82 • • Was ist ein Mikroprozessor? (Pelka). 4. Aufl.

83 • • Mikrofon-Aufnahmetechnik (Praetzel/Warnke). 2. Aufl.

84 • • Fernsehantennen-Praxis (Mende). 14. Aufl.

85 • • • HiFi-Schaltungs- und Baubuch (Kühne/Horst). 9. Aufl.

87 • • Methodische Fehlersuche in der Industrie-Elektronik (Benda). 2. Aufl.

88 • • Schliche und Kniffe für Radiopraktiker (Kühne). 7. Aufl.

90 • Netzgeräte mit ICs (Sehrig). 2. Aufl.

92 • • • Einfache Experimente mit digitalen Schaltgliedern (Wirsum). 2. Aufl.

93 • • Schaltungen für die Modellfernsteuerung (Bruß). 8. Aufl.

94 • • Fliegen mit Modellhubschraubern (Snitjer)

96 • Abkürzungen aus der Elektronik (Freyer)

98 • Jedermann-Funk (Kriebel/Rockrohr). 3. Aufl.

99 • • • Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszilloskop? (Sutaner/Wißler). 10. Aufl.

100 • • Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker und Elektroniker (Mende). 4. Aufl.

Gordian Sehrig

Meßgeräte mit IC's

Erprobte Schaltungsvorlagen
zum Selbstbau vielseitig verwendbarer Meßgeräte

Mit 40 Abbildungen

Franzis'

Nr. 137 der RPB-electronic-taschenbücher

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Sehrig, Gordian:
Meßgeräte mit IC's: erprobte Schaltungsvorlagen zum Selbstbau vielseitig verwendbarer Meßgeräte / Gordian Sehrig. – München: Franzis, 1980.
([RPB-Elektronik-Taschenbücher] RPB-electronic-taschenbücher; Nr. 137).
ISBN 3-7723-1371-X

© 1980 Franzis-Verlag GmbH, München

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Abbildungen, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: Franzis-Druck-GmbH, Karlstr. 35, 8000 München 2
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.

ISBN 3-7723-1371-X

Vorwort

Heutzutage sind hochintegrierte bipolare und CMOS-Schaltungen erhältlich, die zu einem sehr geringen Preis die Funktionen von kompletten Meßgeräten beinhalten. Mit ihrer Hilfe läßt sich mit einem einzigen hochintegrierten IC ein Universalzähler aufbauen oder ein Vorverstärker in ECL-Technik realisieren, der bei 100 MHz noch eine tausendfache Verstärkung liefert.

Allerdings lassen sich die meisten dieser IC's nur mit einer wenn auch geringen äußeren Beschaltung optimal an ihre Einsatzaufgabe anpassen. In der richtigen Auslegung dieser Beschaltung liegt dann auch die eigentliche Schwierigkeit bei der Konstruktion eines Gerätes anhand des Datenblattes einer integrierten Schaltung.

Dieses Buch will einerseits Einblick geben in die Funktionsweise interessanter IC's und andererseits einsatzfertige erprobte Schaltungen für vielseitig verwendbare Meßgeräte mit diesen IC's vorstellen.

Wichtiger Hinweis

Die in diesem Buch wiedergegebenen Schaltungen und Verfahren werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Sie sind ausschließlich für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt und dürfen nicht gewerblich genutzt werden*).

Alle Schaltungen und technischen Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag sieht sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, daß er weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen kann. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Autor und Verlag jederzeit dankbar.

---

*) Bei gewerblicher Nutzung ist vorher die Genehmigung des möglichen Lizenzinhabers einzuholen.

Inhalt

1 Einleitung 7

2 Monolithisch integrierte Spannungsregler 9

2.1 Funktionsweise des IC's L 200 10
2.2 Praktische Schaltungen mit dem L 200 12

3 Genauer Spannungs- und Frequenzgenerator für Kalibrierzwecke 15

3.1 Integrierte Quarzoszillatorschaltung in MOS-Technik 15
3.2 Programmierbares Konstantspannungs-IC 17
3.3 Schaltungsbeschreibung und Aufbauhinweise 19

4 Funktionsgenerator 23

4.1 Monolithisch integrierter Funktionsgenerator 24
4.2 Schaltungsauslegung eines kompletten Funktionsgenerators 25
4.3 Aufbauhinweise 31

5 Digitalmultimeter mit Echt-Effektivwert-Messung 32

5.1 Das Digital-Voltmeter-IC ICL 7106 33
5.2 Bipolarer monolithischer Effektivwert-Konverter 36
5.3 Schaltungsbeschreibung des Digitalmultimeters 38

6 Kleinoszilloskop 44

6.1 BIFET-Operationsverstärker 45
6.2 Monolithisch integrierter Breitbandverstärker 48
6.3 Schaltungsauslegung des X- und Y-Verstärkers 48
6.4 Schaltungsauslegung der Zeitbasis 53
6.5 Aufbauhinweise 57

7 Universalzähler 62

7.1 Universalzähler-IC in CMOS-Technik 62
7.2 Eingangsverstärker und Vorteiler mit ECL-IC's 66
7.3 Aufbauhinweise 68

8 Anhang 73

8.1 Platinenvorlagen 73
8.2 Literatur 90
8.3 Bezugsquellen 92

Sachverzeichnis 95

1 Einleitung

Durch die Verwendung von integrierten Schaltungen (IC's) zum Aufbau von Meßgeräten lassen sich recht preiswerte Geräte, deren Daten aber durchaus mit denen einfacherer industrieller Geräte konkurrieren können, aufbauen. Besonders beim Selbstbau solcher Geräte verringert die Verwendung hochintegrierter Schaltkreise die möglichen Fehler beim Nachbau sowie den Aufwand an Bauteilen erheblich. Andererseits ist es recht unbefriedigend, die integrierten Schaltkreise als „Black Box" zu behandeln und mit ihnen zu arbeiten, ohne Kenntnis von ihrer Funktionsweise und ihrem „Innenleben" zu haben.

Daher werden die in diesem Buch zum Aufbau von Schaltungen verwendeten IC's ausführlich in ihrer Funktionsweise und ihrem Aufbau besprochen. Danach wird dann jeweils auf die Schaltungsauslegung des speziellen Gerätes und ihre Besonderheiten sowie auf Probleme, die beim Nachbau auftreten können, eingegangen.

Der Nachbau der Schaltungen wird durch die am Ende wiedergegebenen Vorlagen von gedruckten Schaltungen erleichtert. Andererseits soll der Leser auch angeregt werden, selbst eigene Schaltungen mit den beschriebenen IC's aufzubauen.

Besondere Vorsicht ist bei der Handhabung von MOS-IC's geboten, da sie schon durch statische Aufladung, wie sie z. B. durch Reibung entstehen kann, zerstört werden können. Daher dürfen diese IC's nur in einem leitenden Spezial-Schaumstoff gelagert werden und sollten immer unter Verwendung einer Steckfassung in eine Schaltung eingebaut werden. Arbeiten an der Schaltung sollten nur mit einem geerdeten Lötkolben vorgenommen werden, aber es ist am sichersten, das IC vorher aus der Fassung zu entfernen.

Da Meßgeräte über eine gute Langzeitkonstanz ihrer elektrischen Daten und große Genauigkeit verfügen müssen, ist die teilweise Verwendung engtolerierter Bauelemente unerläßlich. In den im folgenden dargestellten Schaltbildern sind einige passive Bauelemente mit einem * gekennzeichnet. Bei Widerständen bedeutet dies, daß es sich um möglichst eng tolerierte Metallfilmwiderstände mit einem geringen Temperaturkoeffizienten handelt. Sind Trimmpotentiometer bzw. Potentiometer so gekennzeichnet, handelt es sich um 10-Gang-Ausführungen mit einer Cermet- oder Draht-Widerstandsschicht, ebenfalls mit geringem Temperaturkoeffizienten. Außerdem sind einige frequenzbestimmende Kondensatoren mit einem * versehen, was bedeutet, daß diese Kondensatoren auf eine geringe Abweichung des Kapazitätsverhältnisses zueinander ausgesucht werden sollen, um eine gute Frequenzgenauigkeit zu erhalten.

2 Monolithisch integrierte Spannungsregler

Die Entwicklung von integrierten Schaltungen (IC's) zur Spannungsstabilisierung hat in den letzten Jahren eine rasche Entwicklung durchgemacht. Nachdem zuerst Universalspannungsregler-IC's aufkamen, die eine relativ umfangreiche äußere Beschaltung erforderten und nur kleine Ströme und Verlustleistungen verarbeiten konnten, wurden einige Zeit später Festspannungsregler-IC's entwickelt. Diese IC's verfügen nur noch über einen Eingangs-, Ausgangs- und Masse-Anschluß und bieten fest eingestellte, positive oder negative Ausgangsspannungen zwischen 2,5 und 24 V. Sie sind mit Ausgangsströmen von 100 mA bis zu 10 A bei hybriden Ausführungen erhältlich. Eine Weiterentwicklung dieser Festspannungsregler führte dann zu den einstellbaren Spannungsreglern, denen lediglich ein weiterer Anschluß zur Einstellung der Ausgangsspannung hinzugefügt wurde, was den Einsatzbereich dieser IC's sehr erweiterte. Schließlich wurde auch noch eine Schaltung zur Überwachung und Begrenzung der Verlustleistung, zur Überwachung der Kristalltemperatur sowie zur Einstellung und Begrenzung des Ausgangsstromes mitintegriert, so daß diese IC's außer durch Falschpolung praktisch unzerstörbar sind. Zur Zeit der Drucklegung dieses Buches erschienen schließlich als neueste Entwicklung Spannungsregler-IC's, bei denen auch der Brückengleichrichter mit im Gehäuse untergebracht ist, so daß für den Aufbau einer kompletten Schaltung zur Spannungsversorgung außer dem IC nur noch ein Transformator und ein Elektrolytkondensator benötigt werden!

2.1 Funktionsweise des IC's L 200

In *Abb. 1* ist die Prinzipschaltung eines Spannungsregler-IC's der neuesten Generation dargestellt. An Hand dieses Schaltbildes soll die Funktion der einzelnen Schaltungsteile näher erläutert werden. Die *Startschaltung* dient dazu, bei Einschalten der Versorgungsspannung die Konstantstromquelle KSQ 2 in Betrieb zu setzen, durch die die Zenerdiode Z1 versorgt wird. Die von der Zenerdiode gelieferte, hochkonstante Referenzspannung wird vom *Fehlerverstärker* mit der auf ca. 2,8 V heruntergeteilten Ausgangsspannung verglichen. Das so gewonnene Signal steuert dann die Darlington-*Endstufe*, so daß sich eine konstante Ausgangsspannung ergibt. Alle anderen Schaltungsteile dienen als Schutz- und Begrenzerschaltungen.

Die *externe Strombegrenzung* mißt den im Widerstand R 3 vom Ausgangsstrom erzeugten Spannungsabfall. Übersteigt dieser ca. 0,57 V, so wird der Transistor T 3 leitend und begrenzt die Ausgangsspannung und somit den Ausgangsstrom. Durch Verändern des Wertes von R 3 läßt sich der Einsatzpunkt der Strombegrenzung in einem weiten Bereich einstellen. Außerdem befindet sich noch eine kombinierte Schaltung zur internen Verlustleistungs- und Strombegrenzung, die *SOA-Schutzschaltung* auf dem Chip (*SOA: Safe Operating Area*, Sicherer Arbeitsbereich). Bei Spannungsdifferenzen zwischen Ein- und Ausgang von weniger als 16 V bleibt Z 3 gesperrt, und die Schaltung wirkt als interne Strombegrenzung mit einem Einsatzpunkt von ca. 3 A. Übersteigt die Spannungsdifferenz jedoch 16 V, so fließt über R 6 ein Strom in die Basis von T 5 und bewirkt den Begrenzungseinsatz schon bei kleineren Strömen. Je größer die Spannungsdifferenz wird, um so früher setzt die Strombegrenzung ein, so daß die Verlustleistung, die ja das Produkt aus Spannungsdifferenz und Ausgangsstrom darstellt, begrenzt wird.

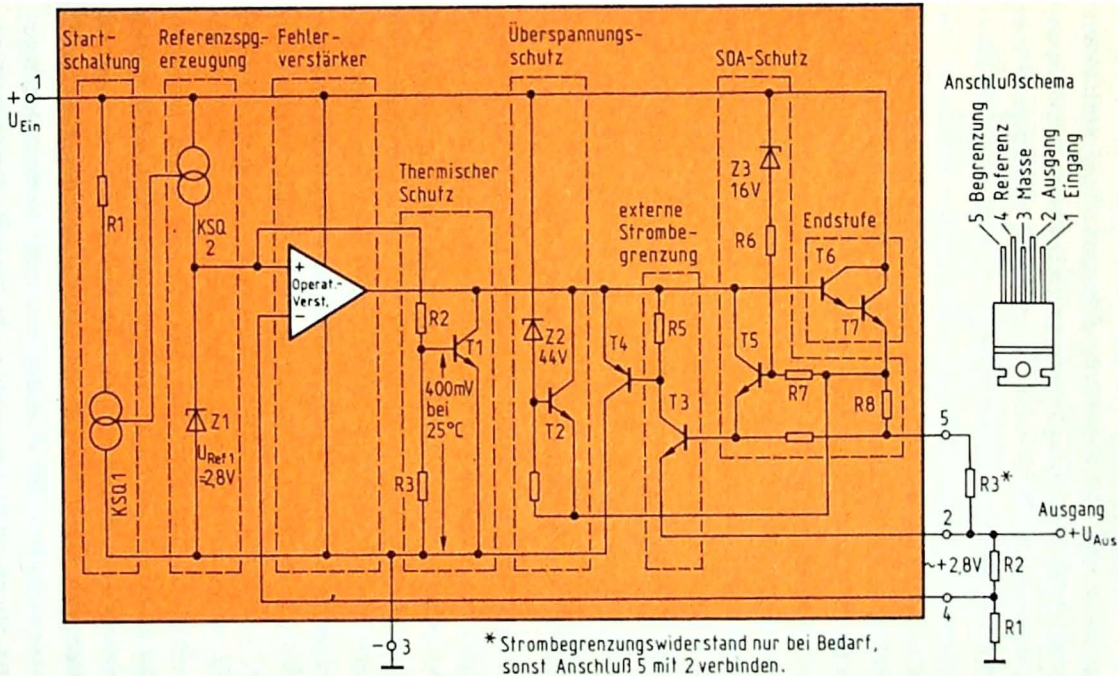


Abb. 1. Prinzipschaltung und Anschlußfolge des L 200

Als zusätzliche Schutzmaßnahme sind noch ein *Überspannungsschutz* und eine *thermische Schutzschaltung* vorhanden. Übersteigt die Eingangsspannung (auch bei kurzzeitigen Spannungsspitzen) den Wert von 44 V, so wird Z 2 leitend und über T 2 wird die Endstufenansteuerung kurzgeschlossen. Bei kurzgeschlossener Basis-Emitter-Strecke erhöht sich aber die Durchbruchspannung der Ausgangstransistoren beträchtlich. Schließlich sorgt der thermische Schutz dafür, daß bei Erreichen der Maximaltemperatur von 150 °C der Ausgangsstrom ebenfalls solange begrenzt wird, bis die Temperatur unter diesen Wert gesunken ist. Dazu wird ausgenutzt, daß der Wert der Basis-Emitter-Spannung von T 1 mit steigender Temperatur sinkt. Bei 150 °C hat er den Wert von 400 mV erreicht, und der Transistor wird über den Spannungsabfall an R 3 aufgesteuert.

2.2 Praktische Schaltungen mit dem L 200

Die *Abb. 2* zeigt die einfache Grundschaltung des L 200 mit einstellbarer Ausgangsspannung und Strombegrenzung. In dieser Anordnung liefert die Schaltung einen Ausgangsstrom von 2 A, und die Ausgangsspannung läßt sich in drei umschaltbaren Bereichen von 3...10 V, 10...20 V und 20...30 V fein einstellen; R 5 dient zum Einstellen der maximalen Ausgangsspannung. Die Umschaltung der Eingangsspannung hat den Vorteil, daß am IC immer nur eine Spannungsdifferenz von maximal 10 V abfällt, so daß zur Kühlung ein Kühlkörper von 3 °C/W Wärmewiderstand ausreicht. Bei Verwendung eines größeren Kühlkörpers können auch weitere Bereiche der Spannung überstrichen werden, und der Ausgangsstrom kann maximal 3 A betragen. Durch die internen Schutzschaltungen ist das IC zwar vor einer Beschädigung durch zu hohe Temperaturen geschützt, aber es steht dann nicht mehr der volle Ausgangsstrom

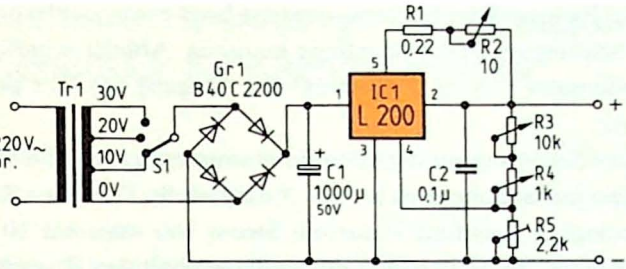


Abb. 2. Universelle Schaltung zur Spannungsstabilisierung mit dem IC L 200

zur Verfügung. Außerdem steigt der Brummspannungsanteil der Ausgangsspannung bei Einsatz der internen Begrenzung auf etwa 100 mV_{ss} an. Mit R 2 läßt sich der Ausgangsstrom im Bereich von 0,05...2 A einstellen.

Die Ausgangsspannung berechnet sich nach der Beziehung

$$U_A = 2{,}77\ V \cdot (1 + \frac{R\,3 + R\,4}{R\,5}) \qquad (1)$$

und der Ausgangsstrom (Einsatz der Strombegrenzung):

$$I_A = \frac{0{,}45\ V}{R\,1 + R\,2} \qquad (2)$$

An der Schaltung nach Abb. 2 wurden Werte des Brummspannungsanteils von typisch 10 mV_{ss} sowie eine Änderung der Ausgangsspannung von 18 mV pro 1 A Ausgangsstromänderung und von 2 mV bei einer Änderung der Eingangsspannung um 10 V gemessen!

Bei Einsetzen der Strombegrenzung kann es zu hochfrequenten Schwingungen der Schaltung kommen. Abhilfe schafft ein Kondensator von ca. 1 nF direkt am Ausgang des IC's gegen Masse.

Eine Schaltung zur digitalen Programmierung verschiedener Ausgangsspannungen ist in *Abb. 3* dargestellt. Da in den Referenzeingang Anschluß 4 nur ein Strom von maximal 10 µA fließt, fällt der Widerstand des durchgeschalteten Transistors kaum ins Gewicht, so daß sich auch hier die Ausgangsspannungen nach Gleichung (1) berechnen. Zusätzlich verfügt die Schaltung noch über einen Abschalt-Eingang, über den die Ausgangsspannung auf nahezu Null Volt gebracht werden kann.

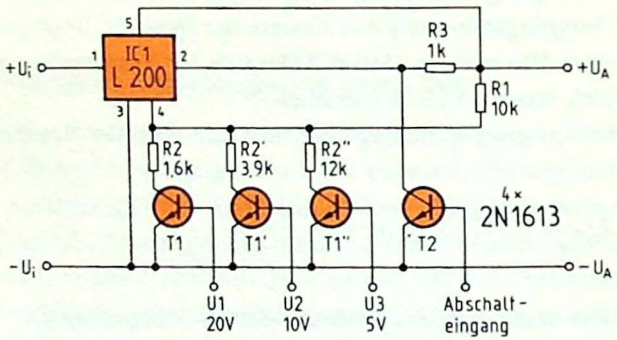


Abb. 3 Schaltung mit digitaler Programmierbarkeit verschiedener Ausgangsspannungen

3 Genauer Spannungs- und Frequenzgenerator für Kalibrierzwecke

Bei dem Selbstbau von Meßgeräten, z. B. Frequenzzählern oder Digitalvoltmetern, ergibt sich oft das Problem der fehlenden Möglichkeit, die selbstgebauten Geräte zu kalibrieren. Dazu ist es nützlich, ein Gerät zu besitzen, das einige Spannungen und Frequenzen mit großer Genauigkeit und guter Reproduzierbarkeit erzeugt. Die hier vorgestellte Schaltung eines solchen Gerätes ist mit zwei integrierten Schaltungen in MOS- bzw. bipolarer Technik aufgebaut, auf deren Aufbau und Funktionsweise in den folgenden beiden Kapiteln näher eingegangen wird.

3.1 Integrierter Quarzoszillator in MOS-Technik

In *Abb. 4* ist das Blockschaltbild des integrierten Schaltkreises MK 5009 wiedergegeben. Es handelt sich dabei um einen ionenimplantierten MOS-Schaltkreis. Daher ist besondere Vorsicht bei der Handhabung geboten, um das IC nicht zu zerstören; es sollte nur in einer Steckfassung betrieben und vor jeglichen Arbeiten an der Schaltung entfernt werden!

Der Schaltkreis enthält eine Oszillatorschaltung, die entweder mit einer RC-Kombination, oder aber mit einem Quarz betrieben werden kann, wobei die erzielbare Frequenzstabilität dann nur von der Stabilität des Quarzes abhängt. Der Frequenzbereich erstreckt sich bei Quarzbetrieb von 100 kHz bis 2 MHz. An Anschluß 10 kann die Oszillatorfrequenz abgenommen werden.

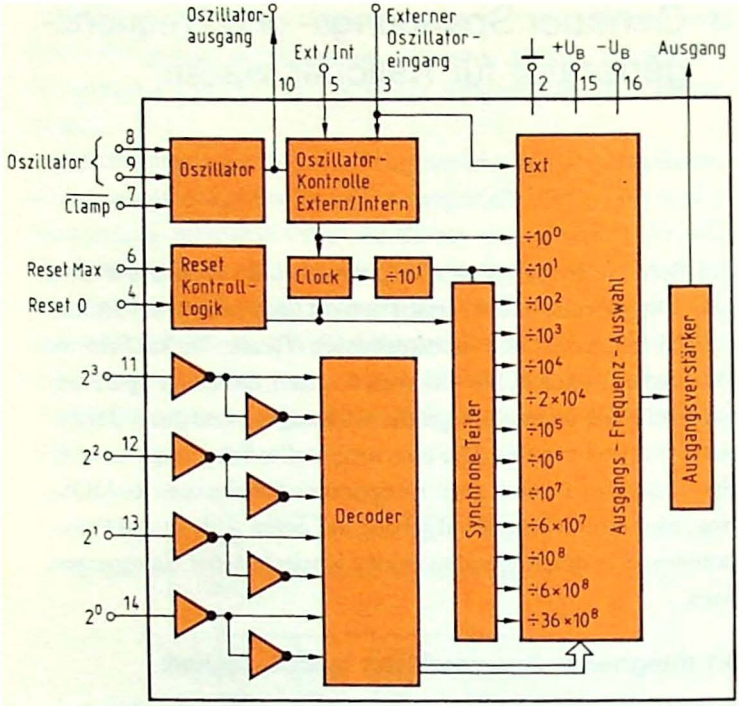


Abb. 4 Blockschaltbild des Quarzoszillator-IC's MK 5009

Die Oszillatorfrequenz durchläuft zunächst einen 10:1-Teiler, um dann in einem voll synchronen Teiler bis auf 36×10^8:1 heruntergeteilt zu werden, so daß man bei Verwendung eines 1-MHz-Quarzes Ausgangsfrequenzen von 1 MHz, 100, 10, 1 kHz, 100, 10, 1, 0,1 und 0,01 Hz sowie Zeitdauern von einer und zehn Minuten sowie einer Stunde erhält. Über einen Decoder wird die an den Anschlüssen 11...14 anstehende logische Information umgewandelt und steuert eine Auswahlschaltung,

die jeweils eines der Teilerverhältnisse auswählt und an den Ausgang Anschluß 1 legt. Bei Anlegen einer logischen 1 an Anschluß 5 wird der interne Oszillator abgeschaltet. Dann können die Teiler dazu benutzt werden, eine externe Frequenz, die an Anschluß 3 angelegt werden muß, herunterzuteilen, wobei die Anwahl der Teilerverhältnisse genauso erfolgt wie oben beschrieben.

Alle Ein- und Ausgänge sind voll TTL-kompatibel. Durch die MOS-Technik hat der Schaltkreis nur einen Stromverbrauch von typisch 6 mA, so daß er besonders für batteriebetriebene Geräte geeignet ist.

3.2 Programmierbares Konstantspannungs-IC

Referenzspannungs-IC's wie der hier beschriebene Schaltkreis AD 584 stellen im Prinzip auch nur Festspannungsregler dar, bei denen allerdings besonders hohe Anforderungen an die Spannungskonstanz der Ausgangsspannung gegenüber Änderungen der Eingangsspannung, des Ausgangsstroms und der Temperatur sowie an die absolute Genauigkeit der Ausgangsspannung und an die Langzeitstabilität gestellt werden. Um diese Anforderungen zu erfüllen, bedarf es recht aufwendiger Schaltungsmaßnahmen. Allerdings sind integrierte Schaltungen hier gegenüber diskret aufgebauten Schaltungen im Vorteil, da die elektrischen Parameter der Schaltungselemente und ihr Temperaturverhalten wegen der viel größeren räumlichen Nähe wesentlich besser übereinstimmen als bei diskret aufgebauten Schaltungen.

Abb. 5 zeigt schematisch die Innenschaltung des AD 584. Zur Referenzspannungserzeugung wird eine sog. *Band-Gap-Reference* benutzt. Dabei wird der Abstand des Leitungsbandes vom Valenzband ausgenutzt, um eine sehr stabile, temperatur-

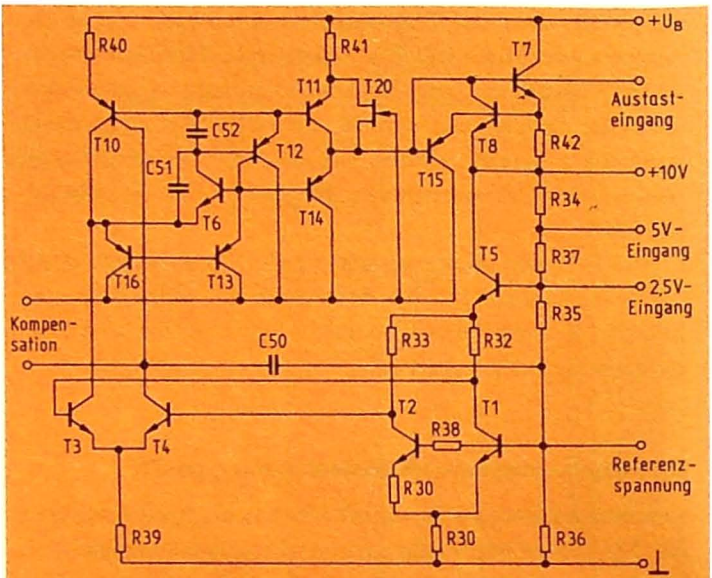


Abb. 5. Innenschaltung der Spannungsfrequenz AD 584

unabhängige Spannung zu erzeugen. Dieser Bandabstand beträgt bei dem hier verwendeten Silizium 1,215 V.

Durch den auf dem Chip befindlichen Spannungsteiler R 34...R 37, dessen Widerstände mit Laserstrahlen auf ein sehr genaues Widerstandsverhältnis abgeglichen werden, bevor der Chip in sein Gehäuse eingebaut wird, sind außer der Standard-Ausgangsspannung von 10,000 V auch noch Spannungen von 2,500 V, 5,000 V und 7,500 V zu erhalten, in dem die Anschlüsse 1 und 3, 1 und 2 oder 2 und 3 miteinander verbunden werden.

Der AD 584 ist in drei Versionen erhältlich, bei denen die absolute Genauigkeit der Ausgangsspannung zwischen ±30 mV und ±5 mV, ihr Temperaturkoeffizient zwischen 0,003 % und 0,0005 % liegen!

Weiterhin besitzt der AD 584 einen Anschluß zum Abschalten der Ausgangsspannung (STROBE). Dann reduziert sich der ohnehin geringe Stromverbrauch von 750 auf 100 µA. Wegen des sehr guten Einschwingverhaltens der Ausgangsspannung (150 µs Einschwingzeit auf 1 % und 350 µs auf 0,01 % der Ausgangsspannung) kann dieser Anschluß benutzt werden, um die Ausgangsspannung mit Frequenzen bis zu 1 kHz zu modulieren.

3.3 Schaltungsbeschreibung und Aufbauhinweise

Die Schaltung des kompletten Kalibriergenerators ist in *Abb. 6* zu sehen; im Anhang 8.1 ist ein Platinenentwurf mit zugehörigem Bestückungsplan zum Aufbau dieser Schaltung zu finden. Zum Umschalten der Ausgangsspannungen des AD 584 ist ein Schalter zur direkten Montage auf der Platine vorgesehen. Dies ist notwendig, da die Verbindungen vom AD 584 wegen ihrer Empfindlichkeit gegen Störspannungseinstreuung so kurz wie möglich sein müssen. Mit dem Schalter S 1 können nicht nur die oben genannten Spannungen angewählt werden, sondern in der letzten Stellung läßt sich mit R 4 eine variable Ausgangsspannung einstellen.

Der Abschalteingang des AD 584 läßt sich über einen Schalter an den Ausgang des Frequenzgenerators legen, so daß man eine Rechteckspannung hoher Amplituden- und Frequenzkonstanz, wie sie z. B. zur Kalibrierung von Oszilloskopen benötigt wird, erhält.

Die Schalterstellung von S 2, mit dem die Frequenz einge-

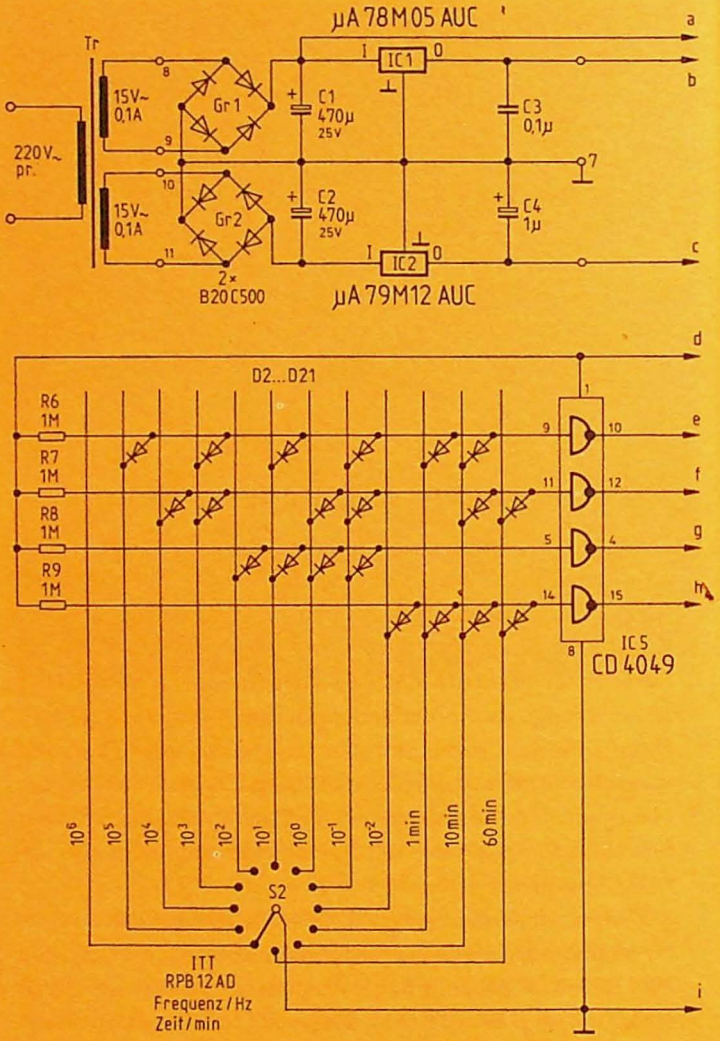


Abb. 6. Schaltung des Spannungs- und Frequenzgenerators

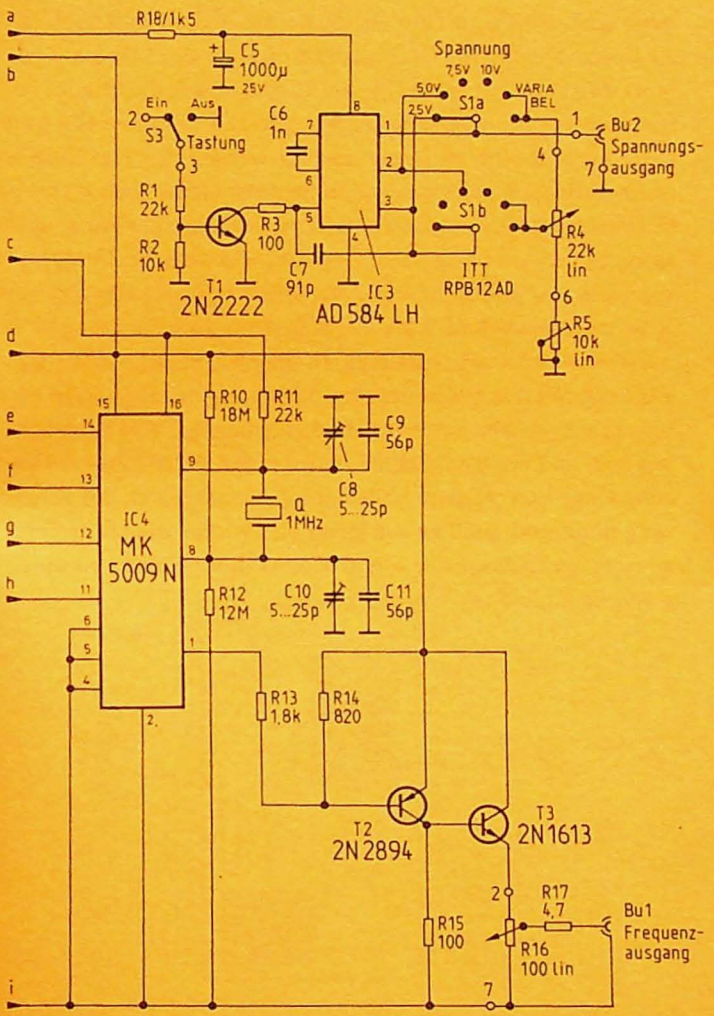

a
b
c
d
e
f
g
h
i
R18/1k5
C5
1000µ
25V
Spannung
7,5V 10V
5,0V
2,5V
VARIA
BEL
S1a
Ein
Aus
S3
Tastung
C6
1n
Bu2
Spannungs-
ausgang
R1
22k
R2
10k
R3
100
T1
2N2222
C7
91p
IC3
AD584 LH
S1b
ITT
RPB12AD
R4
22k
lin
R5
10k
lin
R10
18M
R11
22k
C9
56p
C8
5...25p
Q
1MHz
IC4
MK
5009 N
R12
12M
C10
5...25p
C11
56p
R13
1,8k
R14
820
T2
2N2894
T3
2N1613
R17
4,7
R15
100
R16
100 lin
Bu1
Frequenz-
ausgang

Abb. 6

stellt wird, wird über eine Diodenmatrix codiert und über das als Inverter dienende IC 5 an die Eingänge des MK 5009 geführt. Mit den Trimmern C 8 und C 10 läßt sich die Oszillatorfrequenz auf genau 1 MHz abgleichen. Dabei sollten C 8 und C 10 wechselseitig so lange verstellt werden, bis die Sollfrequenz erreicht ist und beide Trimmer etwa denselben Kapazitätswert haben, da ansonsten das Tastverhältnis der Ausgangsspannung unsymmetrisch ist. Über T 2/T 3 wird die Ausgangsspannung des MK 5009 verstärkt. Ihre Amplitude läßt sich mit R 16 zwischen 0 und 3,5 V einstellen.

Beim Aufbau der Schaltung empfiehlt es sich, bei der Bestückung mit den Elementen der Spannungsversorgung zu beginnen. Danach kann die Schaltung um den AD 584 aufgebaut werden, und erst zum Schluß darf der MK 5009 in seine Fassung eingesetzt werden. Falls noch Änderungen an der Schaltung nötig sind, muß er auf jeden Fall vorher wieder entfernt werden, da er ansonsten mit großer Wahrscheinlichkeit durch statische Aufladung beschädigt wird.

4 Funktionsgenerator

Der Funktionsgenerator ist heute zur unentbehrlichen Signalquelle für Frequenzen im Bereich von unter einem Hz bis hin zu mehreren MHz geworden. Er liefert verschiedene Ausgangsspannungen, z. B. Sinus-, Dreieck- und Rechtecksignale, die sich mit einem meist intern vorhandenen Hilfsgenerator frequenz- oder amplitudenmodulieren lassen. Zum Aufbau solcher Funktionsgeneratoren existieren IC's verschiedener Komplexität und Leistungsfähigkeit, mit denen auch der hier beschriebene Funktionsgenerator aufgebaut ist.

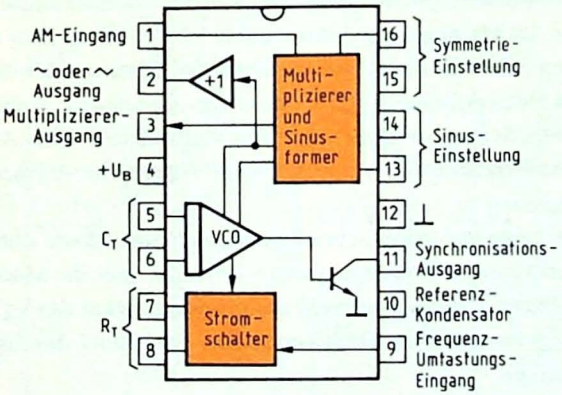


Abb. 7. Blockschaltbild des monolithischen Funktionsgenerator-IC's XR 2206

4.1 Monolithisch integrierter Funktionsgenerator

Das IC XR 2206 von Exar beinhaltet in einem 16poligen DIL-Gehäuse einen kompletten Funktionsgenerator, der nur noch wenige äußere Bauteile benötigt. Sein Blockschaltbild ist in *Abb. 7* dargestellt.

Das Herz der Schaltung bildet ein VCO (*Voltage Controlled Oscillator*: Spannungsgesteuerter Oszillator), der über eine hohe Frequenzstabilität von 0,002 %/°C bzw. 0,01 %/V verfügt. Seine Frequenz liegt im Bereich von 0,01 Hz...1 MHz und ist außer von der Größe des frequenzbestimmenden Kondensators vom Strom durch die Widerstände an den Anschlüssen 7 und 8 abhängig. Über den logischen Eingang Anschluß 9 kann einer der beiden Widerstände angewählt werden, so daß man zwischen zwei verschiedenen Frequenzen umschalten kann, was die Möglichkeit der FSK-Modulation bietet (FSK: *Frequency Shift Keying*, Frequenzumtastung). Die am Kondensator vorliegende Dreieckspannung wird über einen Analog-Multiplizierer geleitet. Abhängig von der Verstärkungseinstellung des Multiplizierers (Anschlüsse 13/14) erhält man am Ausgang entweder die verstärkte Dreieckspannung oder eine aus der Dreieckspannung gewonnene Sinusspannung. Außerdem läßt sich am Anschluß 1 über den Multiplizierer eine Amplitudenmodulation mit bis zu 100%iger Trägerunterdrückung vornehmen.

Wenn einer der frequenzbestimmenden Widerstände durch eine steuerbare Stromquelle ersetzt wird, kann über die Modulierung dieser Stromquelle eine Frequenzmodulation des VCO mit einem Frequenzverhältnis von größer als 1000:1 durchgeführt werden.

Am Anschluß 11 steht eine Rechteckspannung mit einer Amplitude von 12 V_{ss} zur Verfügung, die sich allerdings nicht amplitudenmodulieren läßt.

4.2 Schaltungsauslegung eines kompletten Funktionsgenerators

Abb. 8 zeigt die Schaltung des Netzteils und des Modulationsgenerators zum Aufbau eines kompletten Funktionsgenerators. Die Stabilisierung der Versorgungsspannungen erfolgt mit

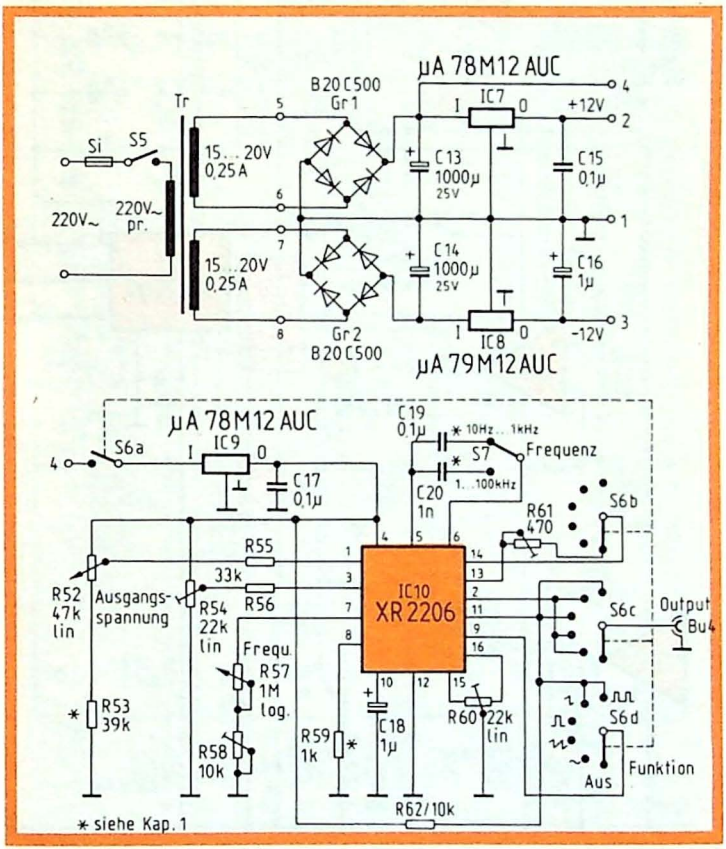


Abb. 8. Netzteil und Modulationsgenerator des Funktionsgenerators

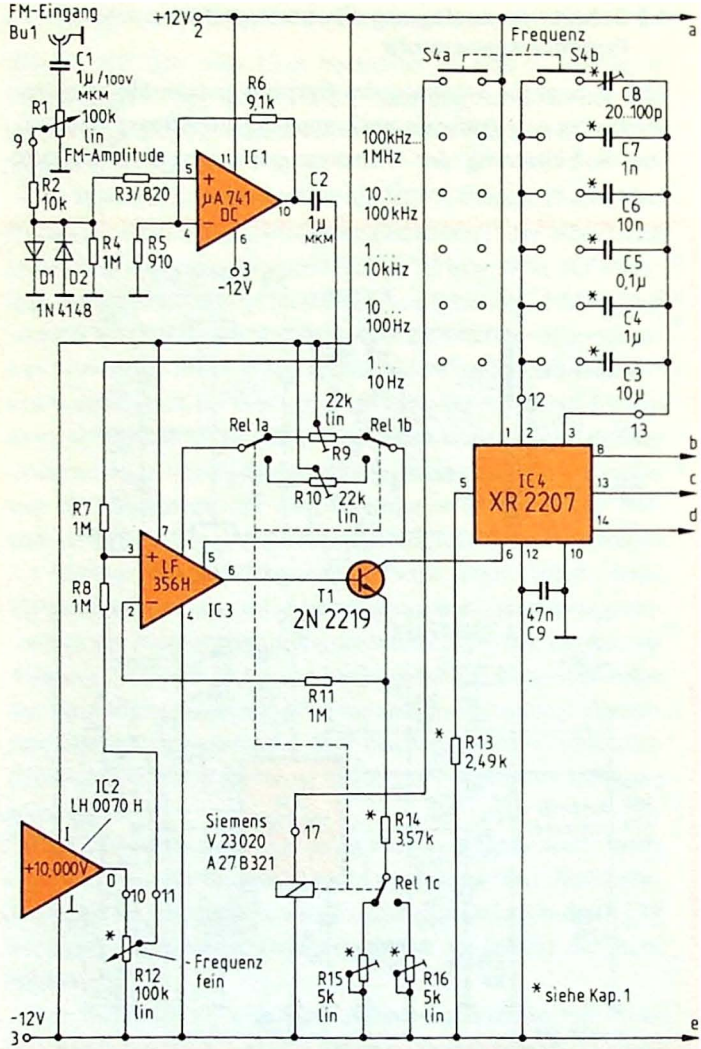


Abb. 9. Schaltung des Funktionsgenerators

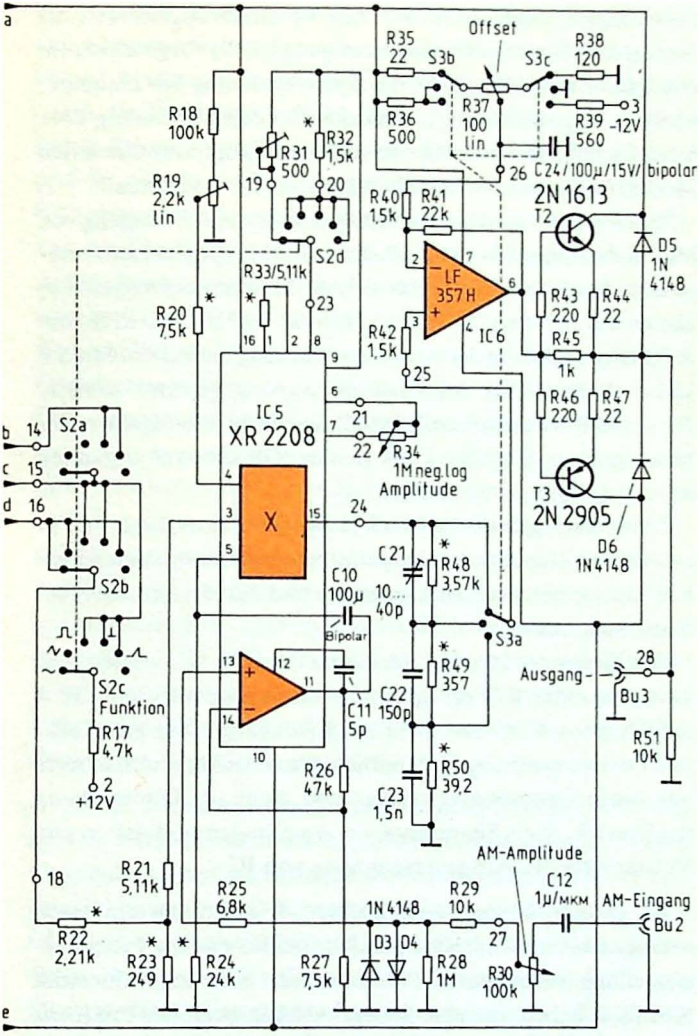

Offset
R35 22
S3b
S3c
R38 120
R36 500
R37 100 lin
R39 560
-12V
C24/100µ/15V/ bipolar
R18 100k
R31 500
R32 1,5k
R19 2,2k lin
19
20
26
2N 1613
T2
D5 1N 4148
S2d
R33/5,11k
R40 1,5k
R41 22k
LF 357 H
IC6
R43 220
R44 22
R45 1k
R20 7,5k
R42 1,5k
25
IC5
XR 2208
R46 220
R47 22
21
22
R34 1M neg.log Amplitude
T3
2N 2905 /
D6 1N4148
b 14
S2a
c 15
d 16
24
C21 10... 40p
R48 3,57k
C10 100µ Bipolar
S2b
S3a
R49 357
Ausgang
28
Bu3
S2c Funktion
C22 150p
R17 4,7k
2 +12V
C11 5p
R51 10k
R26 47k
R50 39,2
C23 1,5n
AM-Amplitude
18
R21 5,11k
R25 6,8k
R29 10k
C12 1µ/мкм
AM-Eingang
Bu2
R22 2,21k
1N 4148
D3
D4
27
R23 249
R24 24k
R27 7,5k
R28 1M
R30 100k
e

Abb. 9

Festspannungsregler-IC's, für den Modulationsgenerator ist ein eigenes IC zur Spannungsversorgung (IC 9) vorgesehen, um eine gute Entkopplung von der Speisespannung des Hauptgenerators zu gewährleisten. Außerdem ist diese Spannung über S 6 a abschaltbar, um die Störspannungseinkopplung durch den Modulationsgenerator auf ein Minimum zu reduzieren.

Der XR 2206 wird hier als Hilfsgenerator zur Erzeugung von Modulationssignalen zur Modulation des Hauptgenerators eingesetzt. Mit S 7 und R 57 läßt sich die Modulationsfrequenz in einem Bereich von 10 Hz...1 kHz und 1 kHz...100 kHz, mit R 52 die Amplitude der Ausgangsspannung einstellen. Mit S 6 kann die Form der Modulationsspannung gewählt werden. R 60 und R 61 dienen zur Einstellung der Spannungsform des Sinussignals und mit R 54 läßt sich der Gleichspannungsanteil des Ausgangssignals einstellen.

Die Schaltung des kompletten Hauptgenerators zeigt *Abb. 9*. Im Anhang, Kap. 8.1, ist eine gedruckte Schaltung wiedergegeben, auf der sich der Hauptgenerator und das Netzteil aus Abb. 8 aufbauen lassen.

Der Generator ist nicht mit einem einzigen IC, sondern mit zwei getrennten IC's zur Spannungserzeugung aufgebaut. IC 4 enthält einen VCO und dient zur Erzeugung einer Rechteck- und Dreieckspannung, IC 5 enthält einen Analogmultiplizierer und einen Operationsverstärker und dient zur Umwandlung des Dreieck- in ein Sinussignal, zur Amplitudenmodulation und Verstärkung der Ausgangsspannung von IC 4.

Da es sich bei dem XR 2207 (IC 4) eigentlich um einen *stromgesteuerten* Oszillator handelt, müßte ein zur Frequenzeinstellung verwendetes Potentiometer eine logarithmische Kennlinie haben, um eine lineare Abhängigkeit der Frequenz vom Drehwinkel zu bekommen. Um nun ein hochauflösendes 10-Gang-Potentiometer (welche nur mit linearer Kennlinie

handelsüblich sind) verwenden zu können, dient IC 3 als spannungsgesteuerte Stromquelle. Durch die Ausgangsspannung von IC 3 wird der Transistor T 1 solange aufgesteuert, bis der durch die Widerstände R 14 + R 15 bzw. R 14 + R 16 fließende Strom einen Spannungsabfall hervorruft, der genauso groß ist wie die mit R 12 am nichtinvertierenden Eingang von IC 3 eingestellte Spannung, so daß man eine lineare Abhängigkeit der Oszillatorfrequenz von IC 4 von der mit R 12 eingestellten Spannung erhält. Die frequenzbestimmenden Kondensatoren C 3...C 8 sind auf eine hohe Genauigkeit des Kapazitätsverhältnisses ausgesucht, um so eine gute Genauigkeit der Frequenzeinstellung zu erreichen. IC 3 ist ein sogenannter BI-FET-Operationsverstärker, dessen Eingänge eine so hohe Impedanz aufweisen, daß die an R 12 abgegriffene Spannung nicht verfälscht wird (s. a. Kap. 6.1). Da die Oszillatorfrequenz in erster Linie von der mit R 12 eingestellten Spannung bestimmt wird, muß diese Spannung eine sehr gute Temperaturstabilität und Langzeitkonstanz aufweisen, um eine gute Frequenzkonstanz zu erhalten. Zur Stabilisierung dieser Spannung dient IC 2 (LH 0070-H), das eine Referenzspannungsquelle sehr hoher Spannungskonstanz darstellt. Wenn eine geringere Frequenzstabilität in Kauf genommen werden kann, kann IC 2 durch eine Zenerdiode ersetzt werden.

Da die Linearität der Strom/Frequenz-Abhängigkeit von IC 4 im Bereich von 100 kHz...1 MHz schlechter wird, ist eine Umschaltung der Widerstände der Stromquelle (R 15/16) und der Trimmer zur Offsetspannungskompensation von IC 3 (R 9/10) vorgesehen. Dadurch wird die Linearität der Spannungs-Frequenz-Einstellung über die spannungsgesteuerte Stromquelle auch in diesem Bereich gewährleistet. Diese Umschaltung erfolgt über ein Relais (Rel 1), um so für kürzestmögliche Verbindungen zu sorgen. Das Relais kann auch durch ei-

nen geeigneten Schalter ersetzt werden, der dann allerdings dicht über der gedruckten Schaltung plaziert sein muß. IC 1 dient als Vorverstärker für den Frequenzmodulationseingang. Seine Ausgangsspannung wird über R 7 an den Eingang der spannungsgesteuerten Stromquelle geführt, so daß eine Frequenzmodulation der Oszillatorfrequenz von IC 4 möglich ist.

Zum Abgleich der Frequenzeinstellung empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

Im Frequenzbereich 10...100 kHz wird R 12 auf 1–0–0–0 gestellt und die Oszillatorfrequenz mit R 15 auf 100 kHz abgeglichen. In Stellung 1–0–0 von R 12 wird mit R 9 auf 10 kHz, in Stellung 5–0–0 mit R 15 auf 50 kHz und in Stellung 1–0–0 mit R 9 auf 10 kHz abgeglichen. Dann wird der Bereich von 100 kHz...1 MHz gewählt, R 12 auf 5–0–0 gestellt und mit C 8 die Oszillatorfrequenz auf 500 kHz eingestellt. Darauf folgt in Stellung 1–0–0–0 von R 12 ein Abgleich auf 1 MHz mit R 16, in Stellung 1–0–0 ein Abgleich auf 100 kHz mit R 10, in Stellung 5–0–0 ein Abgleich auf 500 kHz mit R 16 und schließlich in Stellung 1–0–0 ein Abgleich mit R 10 auf 100 kHz. Bei diesen Arbeiten kann der in Kap. 7 beschriebene Universalzähler gute Dienste leisten.

Mit S 2 wird die Form der Ausgangsspannung gewählt. Dabei wird der Rechteck-Ausgang von IC 4 in den Bereichen Sinus und Dreieck abgeschaltet, um die Einkopplung von Störungen so gering wie möglich zu halten.

Der Analog-Multiplizierer im IC 5 verstärkt die Ausgangsspannung von IC 4 bzw. formt die Dreieckspannung in eine Sinusspannung um; mit R 31 läßt sich die Form und mit R 19 die Symmetrie des Sinussignals einstellen.

Der im XR 2208 enthaltene Operationsverstärker dient als Vorverstärker für die Amplitudenmodulations-Spannung. Die Amplitude der Ausgangsspannung läßt sich mit R 34 einstellen

und mit S 3 im Verhältnis 1:1, 1:10, 1:100 abschwächen. Als Ausgangsverstärker dient ein BIFET-Operationsverstärker LF 357 H (IC 6) mit nachgeschalteter Emitterfolger-Komplementär-Endstufe. Über R 37 läßt sich der *Offset*, d. h. der Gleichspannungsanteil des Ausgangssignals einstellen.

4.3 Hinweise zum Aufbau

Es empfiehlt sich, beim Aufbau der Schaltung mit der Spannungsversorgung zu beginnen. Nachdem das Vorhandensein der Versorgungsspannungen an allen Punkten der gedruckten Schaltung überprüft wurde, kann mit dem Aufbau des Frequenzgenerators (IC 1...4) fortgefahren werden. Zum Schluß erfolgt der Aufbau des Analogmultiplizierers IC 5 und des Ausgangsverstärkers IC 6/T 2, T 3.

Besonderes Augenmerk ist beim Einbau der gedruckten Schaltung in ein Gehäuse auf möglichst kurze Verbindungen zu den Bedienungselementen zu richten, um ein stabiles Arbeiten der Schaltung zu gewährleisten. Der Modulationsgenerator, sei er nun wie in Abb. 8 vorgeschlagen aufgebaut oder anders ausgelegt, soll gegen den Hauptgenerator möglichst gut abgeschirmt aufgebaut werden.

Zur Überprüfung der einwandfreien Funktion der Schaltung und zur Fehlersuche ist ein Oszilloskop fast unentbehrlich, und da die Schaltung doch einigermaßen umfangreich ist, sollten sich nur Leser an den Nachbau dieser Schaltung machen, die schon über einige Erfahrung im Selbstbau elektronischer Geräte verfügen. Mit dem beschriebenen Funktionsgenerator erhält man ein Gerät, das einem alle beim Bau von oder der Fehlersuche an Nf-Verstärkern und niederfrequenten Schaltungen benötigten Signale liefert.

5 Digitalmultimeter mit Echt-Effektivwert-Messung

Vielfachmeßinstrumente gehören zum unentbehrlichen Handwerkszeug des Elektronikers. Während sich bei Geräten mit analoger Anzeige durch ein Zeigermeßwerk Tendenzen im zeitlichen Verlauf einer Meßgröße gut erfassen lassen, ist die Ablesegenauigkeit recht beschränkt, und es bedarf eines hohen Aufwandes an mechanischer Präzision, um eine Ablesegenauigkeit, die zwei Stellen überschreitet, zu erreichen. Digitale Vielfachinstrumente oder *Digitalmultimeter* dagegen bieten eine eindeutige Anzeige des Meßwertes in Form einer Zahl und verfügen über eine Auflösung im *gesamten* Meßbereich von mindestens $2^1/_2$ bis hin zu $7^1/_2$ Stellen bei Präzisionsgeräten.

Diese Geräte eignen sich prinzipiell zur Messung von Gleichspannungen, d. h., zur Messung von Wechselspannungen müssen diese über eine geeignete Schaltung in eine entsprechende Gleichspannung umgewandelt werden. Weit verbreitet ist das Prinzip der einfachen elektronischen Gleichrichtung der Wechselspannung mit einem Brückengleichrichter, dessen Schwellspannung mit Hilfe eines Operationsverstärkers auf einige Millivolt reduziert wird. Dieses Verfahren hat den Nachteil, daß so der *Gleichrichtmittelwert* der Wechselspannung gemessen wird und daß die angezeigte Spannung stark von der Form der Wechselspannung und ihrem *Crestfaktor* abhängig ist (*Crestfaktor*: Verhältnis der Spitzenspannung zum Effektivwert).

Weitaus günstiger ist die Anzeige des *Effektivwertes* der Wechselspannung (der *Effektivwert* einer Wechselspannung ist

gleich der Gleichspannung, durch die in einem Widerstand die gleiche elektrische Leistung wie durch die Wechselspannung umgesetzt wird).

Die Ermittlung dieses Wertes aus einer Wechselspannung erfordert allerdings einige aufwendige mathematische Operationen wie Quadrierung, Mittelwert- und Wurzelbildung, so daß dieses Verfahren bisher nur für sehr aufwendige Meßgeräte verwendet wurde. Durch die Entwicklung preiswerter bipolarer integrierter Schaltkreise, die diese Umwandlung vornehmen, ist die Messung des Effektivwertes einer Wechselspannung jetzt auch bei einfachen Digitalmultimetern möglich.

5.1 Das Digital-Voltmeter-IC ICL 7106

Die *Abb. 10* zeigt die Prinzipschaltung des in MOS-Technik aufgebauten Schaltkreises ICL 7106. Er enthält einen Eingangsverstärker, einen Analog-Digital-Wandler zur Umsetzung der Eingangsspannung in ein Digitalsignal, eine Referenzspannungsquelle, Auswerte- und Decodier-Logik und die Anzeigensteuerung für eine $3^1/_2$stellige Flüssigkristallanzeige! Es sind nur noch zwölf passive Bauelemente notwendig, um ein komplettes Digitalvoltmeter mit einem Meßbereich von 0...200 mV und einer Auflösung von 100 µV zu bauen, wobei der Stromverbrauch der gesamten Schaltung unter einem mA liegt, bei einem Eingangswiderstand von $10^{12}\ \Omega$!

An Hand der Abb. 10 soll das Funktionsprinzip der Schaltung erläutert werden.

Der A/D-Wandler, der die Eingangsspannung in einen proportionalen digitalen Zahlenwert umsetzt, arbeitet nach dem *Dual-Slope*-Verfahren. Dabei ist jeder Meßzyklus in drei Phasen aufgeteilt, und zwar: 1. Automatischer Nullabgleich, 2. Signal-Integration und 3. Referenz-Integration oder Deintegra-

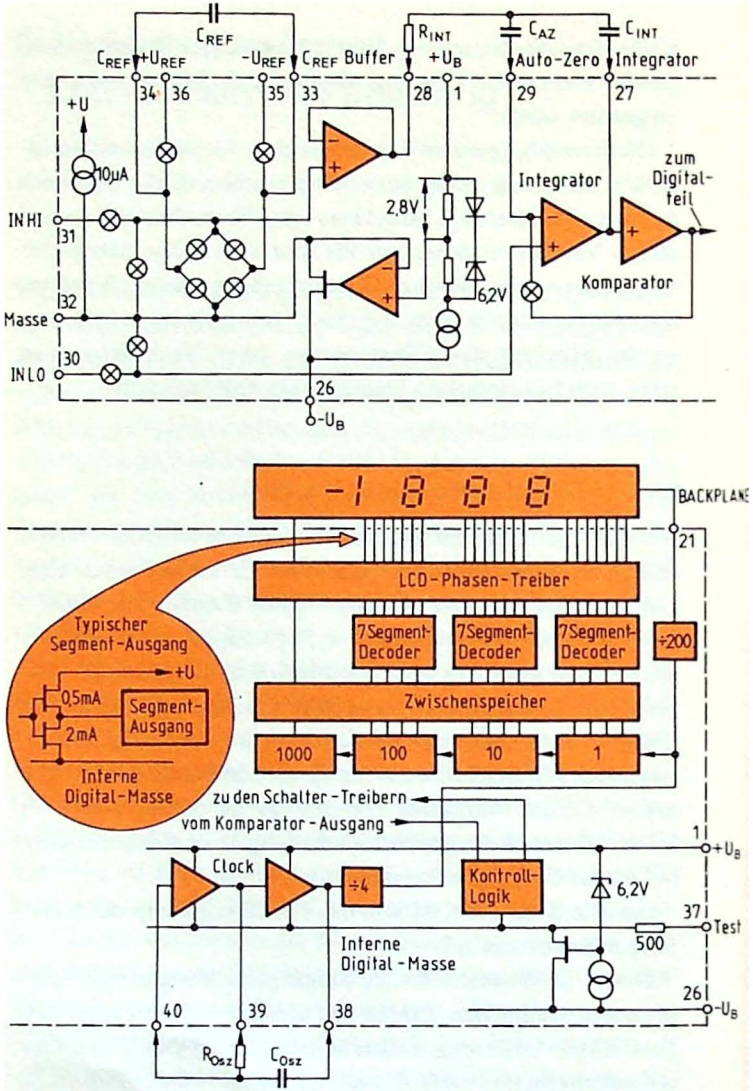


Abb. 10. Prinzipschaltung des integrierten DVM-IC's ICL 7106

tion. In der ersten Phase werden die Analogeingänge intern von den Anschlüssen 30/31 getrennt und mit Anschluß 32 (*Analog Common*, Analoger Masse-Bezugspunkt) verbunden; außerdem wird der Referenzkondensator C_{ref} auf die Referenzspannung aufgeladen. Zwischen dem Ausgang des Komparators und dem invertierenden Eingang des Integrators wird eine Rückkopplungsschleife geschlossen, damit der *Auto-Zero*-Kondensator C_{AZ} so aufgeladen werden kann, daß durch seine Spannung die Offset-Spannungen von Eingangsverstärker, Integrator und Komparator kompensiert werden können.

Zu Beginn der zweiten Phase wird die Verbindung der Analog-Eingänge (Differenz-Eingänge) mit 32 aufgehoben und sie werden mit den externen Anschlüssen 30/31 verbunden. Danach integriert die Schaltung die Differenz-Eingangsspannung zwischen IN LO und IN HI für eine feste Zeitspanne und bestimmt am Ende der Phase die Polarität der Eingangsspannung.

Zu Beginn der dritten Phase wird schließlich IN LO wieder mit *Analog Common* verbunden, und der während der ersten Phase auf die Referenzspannung aufgeladene Referenzkondensator C_{ref} wird an IN HI gelegt. Die vorher festgestellte Polarität des Eingangssignals bestimmt, mit welcher Polarität von C_{ref} dies geschieht. Die Polung von C_{ref} in bezug auf IN HI wird so gewählt, daß die Deintegration der in C_{INT} gespeicherten Eingangsspannung in Richtung Null Volt erfolgen kann. Wenn der Integratorausgang Null Volt erreicht hat, gibt der Komparator ein Signal an den Digitalteil des IC's. Die Zeit vom Beginn der dritten Phase bis zum Durchgang der Integratorspannung durch Null Volt wird mit einem vierstelligen Zähler, der die während dieser Zeit eintreffenden Taktimpulse zählt, gemessen und über eine Decodier- und Anzeigensteuerungs-Logik mit einer Flüssigkristall-Anzeige angezeigt. Sie ist ein direktes Maß für die Größe der Eingangsspannung.

Der Schaltkreis enthält einen internen Oszillator, der alle zur Steuerung des Meßablaufes nötigen Signale erzeugt. Die Oszillatorfrequenz hängt von den Werten von R_{OSC} und C_{OSC} ab und sollte für eine optimale Netzfrequenz-Unterdrückung zu 50 kHz (R_{OSC} = 100 kΩ, C_{OSC} = 100 pF) gewählt werden.

5.2 Bipolarer monolithischer Effektivwert-Konverter

Das IC AD 536 stellt einen neuentwickelten, sehr interessanten Schaltkreis dar, mit dessen Hilfe der Effektivwert einer Wechselspannung im Bereich von einigen Hz bis hin zu 100 kHz bei Crestfaktoren bis zu 6 (–1 % Fehler) bestimmt werden kann. In *Abb. 11* sind das Blockschaltbild mit der Anschlußfolge sowie eine detaillierte Prinzipschaltung wiedergegeben.

Die an Anschluß 1 anliegende Eingangsspannung (Gleich- oder Wechselspannung) wird durch den aktiven Gleichrichter A 1/A 2 in einen unipolaren Strom I_1 umgewandelt. Dieser Strom gelangt in einen Quadrierer/Dividierer (*Squarer/Divider*), der folgende Übertragungsfunktion besitzt:

$$I_4 = I_1^2/I_3 \qquad (3)$$

Der Ausgangsstrom dieser Schaltung, I_4, treibt über ein Tiefpaß-Filter aus R 1 und einem externen Kondensator C_{AV} einen Stromspiegel (*Current Mirror*). Wenn die Zeitkonstante $R1C_{AV}$ sehr viel größer als die Periodendauer der Eingangswechselspannung ist, wird so der Mittelwert von I_4 gebildet. Der Stromspiegel liefert den Strom I_3 an den Quadrierer/Dividierer (I_3 ist gleich dem Mittelwert von I_4), so daß gilt:

$$I_4 = (I_1^2 / I_4) = I_{1rms} \qquad (4)$$

(rms: *Root Mean Square*, Effektivwert). Außerdem liefert der Stromspiegel auch den Ausgangsstrom $I_{OUT} = 2I_4$, der über R 2

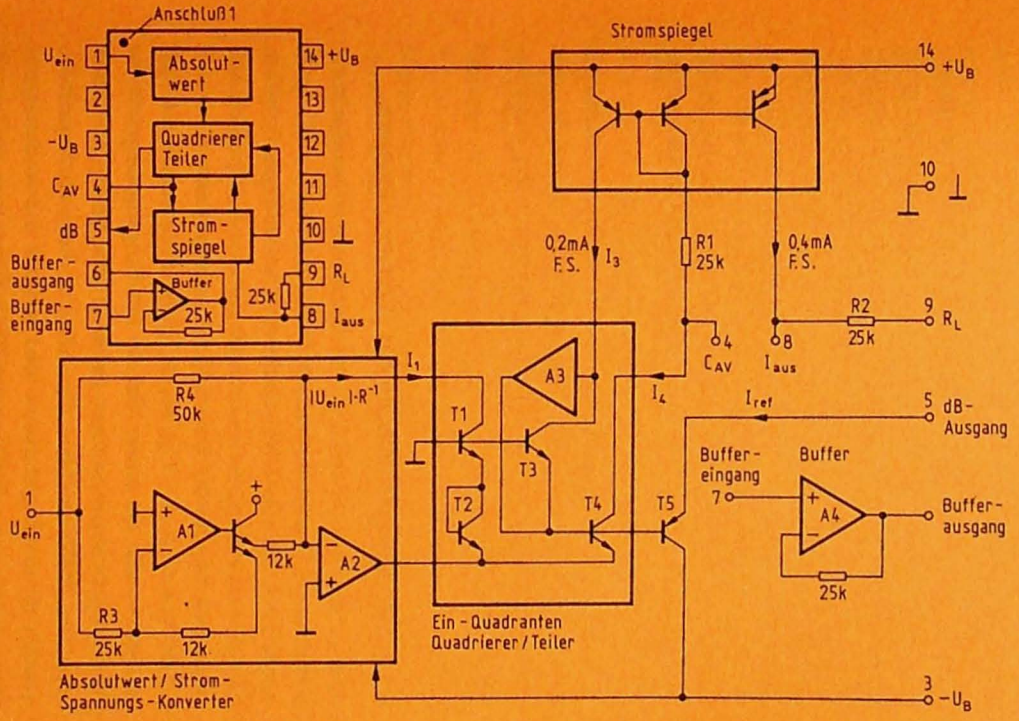


Abb. 11. Innenschaltung und Anschlußfolge des Effektivwert-Konverter-IC's AD 536

in eine Spannung, die gleich dem Effektivwert der Eingangsspannung ist, umgewandelt werden kann.

Der zusätzlich auf dem Chip untergebrachte Pufferverstärker (engl. *Buffer*) mit einer Verstärkung von nahezu eins und einer Eingangsimpedanz von $10^8\ \Omega$ kann entweder als Folgeverstärker an den Ausgang angeschlossen werden oder aber als Impedanzwandler für den Eingang dienen, da dieser nur einen Eingangswiderstand von typisch 16,7 kΩ besitzt, was für Anwendungen in Digitalmultimetern viel zu klein ist. Der geringe Stromverbrauch von maximal 2 mA läßt diesen Schaltkreis besonders für den Einsatz in batteriebetriebenen Geräten geeignet erscheinen.

Allerdings ist bei dem Aufbau von Versuchsschaltungen mit dem AD 536 eine gewisse Vorsicht geboten, da das IC sehr empfindlich gegen zu hohe Spannungsspitzen in der Betriebsspannung reagiert.

5.3 Schaltungsbeschreibung des Digitalmultimeters

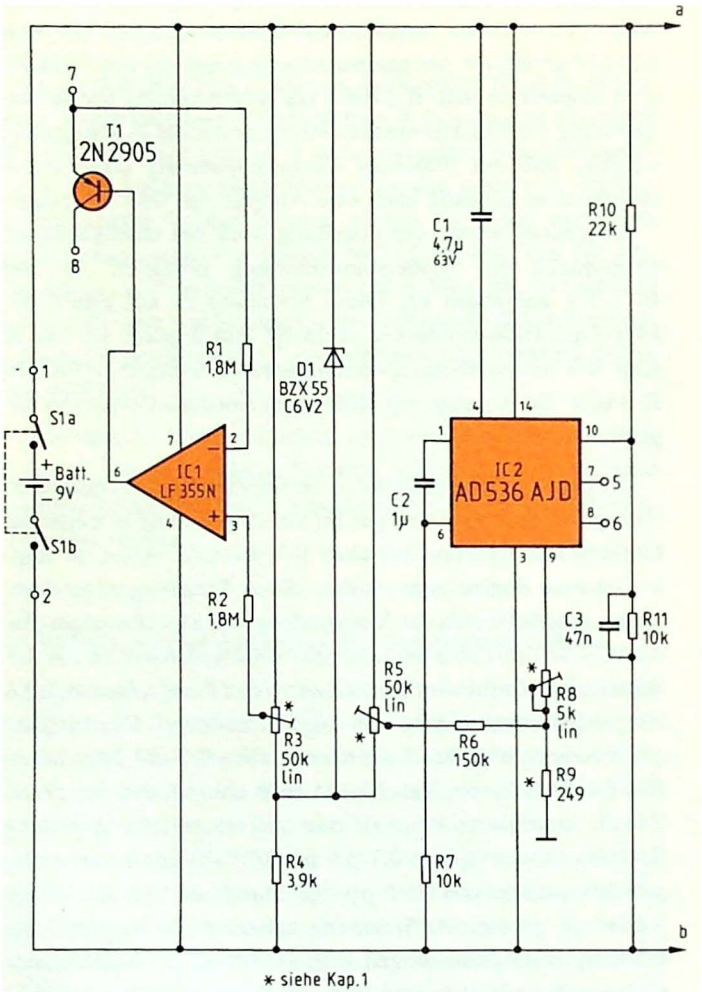
Abb. 12 zeigt die mit den oben beschriebenen IC's aufgebaute Schaltung des Digitalmultimeters. Die Schaltung des ICL 7106 wurde noch um vier UND-Gatter in CMOS-Technik (IC 4, CD 4030) erweitert, die als Inverter zur Erzeugung einer Ansteuerspannung für die Dezimalpunktanzeige dienen.

Der Wert von C 1 = C_{AV} des AD 536 (IC 2) wurde zu 4,7 µF gewählt, so daß die untere Grenze der Eingangsfrequenz für Wechselspannungsmessungen bei ca. 10 Hz für 0,1 % Fehler liegt. Der Pufferverstärker des AD 536 dient als Impedanzwandler für die Eingangsstufe und ist über C 2 wechselspannungsmäßig an den Eingang des RMS-Konverters gekoppelt. Um die Verstärkung von kleiner als 1 des Pufferverstärkers

auszugleichen, liegt der *interne* Ausgangswiderstand R 2 (s. a. Abb. 11) in Reihe mit R 9 und R 8, an dem sich die vom AD 536 gelieferte Ausgangsspannung genau auf den Effektivwert abgleichen läßt. R 5 dient zur Kompensation der Offsetspannung des Effektivwertkonverters und sollte so abgeglichen werden, daß bei fehlender Eingangsspannung und kurzgeschlossenem Eingang auch eine Anzeige von 0000 V erfolgt.

Außerdem wurde die Schaltung noch um eine Konstantstromquelle zur Widerstandsmessung erweitert, die mit IC 1/T 1 aufgebaut ist. Diese Schaltung ist mit einem BI-FET-Operationsverstärker realisiert und arbeitet wie die in Kap. 4.2 beschriebene spannungsgesteuerte Stromquelle. Mit R 3 wird die Anzeige mit Hilfe eines Normalwiderstandes abgeglichen.

Die gesamte Schaltung hat einen Stromverbrauch von typisch 10 mA, wodurch sie sich gut für die Anwendung in tragbaren Geräten mit Speisung aus einer 9-V-Batterie eignet. In Kap. 8.1 ist eine Platine zum Aufbau dieser Schaltung abgebildet. Dabei empfiehlt sich die Verwendung von Steckfassungen für die IC's, so daß diese bei Löt- oder sonstigen Arbeiten aus der Schaltung entfernt werden können. *Abb. 13* zeigt eine mögliche Eingangsbeschaltung für das Digitalmultimeter. Der Eingang der Schaltung wird durch die Kombination R 34/D 2 geschützt. Die Diode D 2 vom Typ ID 101 stellt eine speziell für diesen Zweck konzipierte Doppeldiode mit einem äußerst kleinen Sperrstrom von typisch 0,1 pA (= 10^{-13} A) und einer Sperrschichtkapazität von 0,75 pF dar. Durch sie wird die an die Schaltung gelangende Spannung auf ca. ±1 V begrenzt. Bei Gleichspannungsmessungen liegt zusätzlich der Kondensator C 8 parallel zum Eingang, der mit R 34 zusammen ein Eingangsfilter gegen Störspannungen bildet. Alle verwendeten Widerstände müssen natürlich Metallfilmwiderstände geringer



* siehe Kap.1

Abb. 12. Schaltung des Digitalmultimeters mit Echteffektivwert-Messung

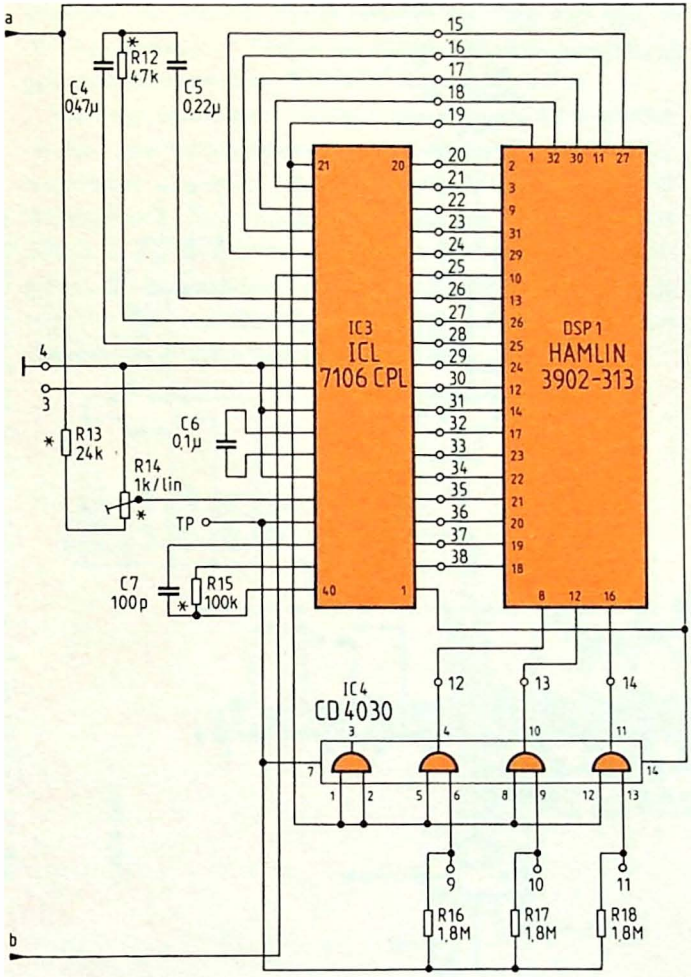

a
b
R12
47k
C4
0,47µ
C5
0,22µ
IC3
ICL
7106 CPL
DSP1
HAMLIN
3902-313
C6
0,1µ
R13
24k
R14
1k/lin
TP
C7
100p
R15
100k
IC4
CD4030
R16
1,8M
R17
1,8M
R18
1,8M

Abb. 12

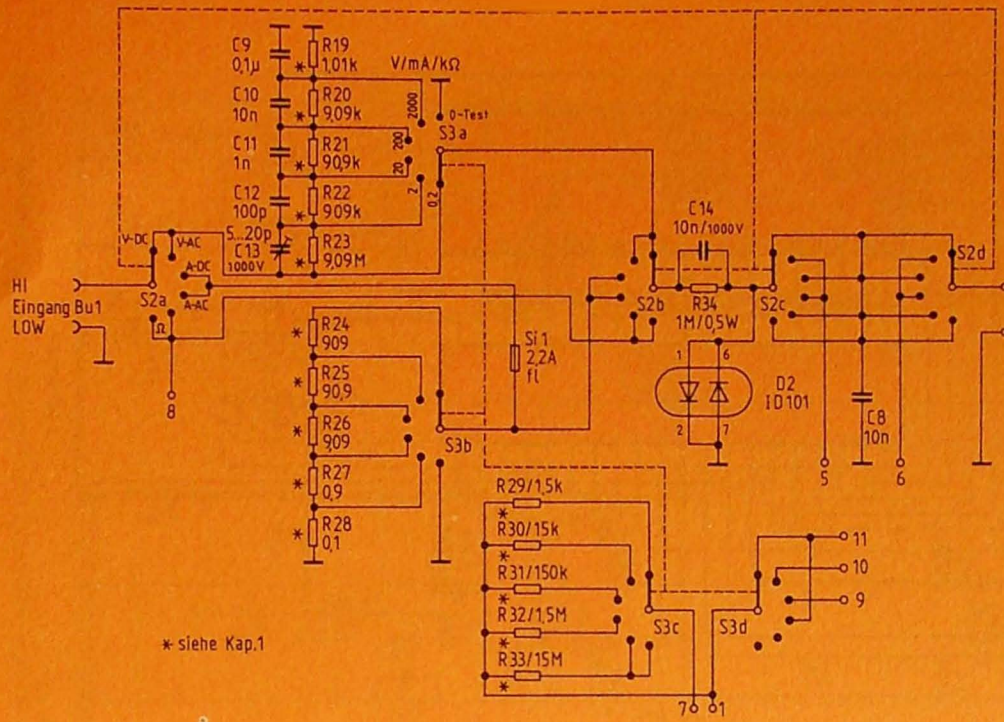


Abb. 13. Vorteiler und Eingangs-Schutzschaltung des Digitalmultimeters

Toleranz mit kleinem Temperaturkoeffizienten sein und für den Kondensator C 5 sollte ein Polypropylenkondensator mit geringen dielektrischen Verlusten eingesetzt werden.

Das Digitalmultimeter verfügt über folgende Meßbereiche: Gleich- und Wechselspannung (*DC: Direct Current* und *AC: Alternating Current*): 0,2, 2, 20, 200, 2000 V; Gleich- und Wechselstrom: 0,2, 2, 20, 200, 2000 mA und Widerstand: 200 Ω, 2, 20, 200, 2000 kΩ. Die Anzeige erfolgt dreieinhalbstellig. Die Flüssigkristall-Anzeige ist auf der in Kap. 8.1 abgebildeten Platine nicht mit untergebracht, um die Schaltung so flexibel wie möglich einbauen zu können.

6 Kleinoszilloskop

Das Oszilloskop hat heute eine weite Verbreitung auch bei Amateuren gefunden, da es ein universelles Meßinstrument darstellt. Durch die Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf einer Spannung sichtbar zu machen, lassen sich sehr rasch Aufschlüsse über das Verhalten der untersuchten Schaltung gewinnen und etwaige Fehlerquellen ermitteln. Durch den allerdings nicht ganz einfachen Selbstbau eines Oszilloskops kann man die Funktionsweise und die Aufgaben der einzelnen Schaltungsteile genau kennenlernen und so auch ein besseres Verständnis für die Einsatzmöglichkeiten des Gerätes erreichen.

Ein Oszilloskop besteht im wesentlichen aus drei Schaltungsgruppen: 1. der Elektronenstrahlröhre mit der Spannungsversorgung, die die nötigen Betriebsspannungen zur Versorgung der Elektronik und die Hochspannung zum Betrieb der Elektronenstrahlröhre erzeugt; 2. dem Y- oder Vertikal-Verstärker, der das oft sehr kleine Meßsignal auf eine Amplitude verstärkt, die zur Ansteuerung der Ablenkplatten der Elektronenstrahlröhre ausreicht und 3. der Zeitbasis mit dem X-Verstärker, durch die eine zeitlineare Spannung (Sägezahnspannung) zur zeitproportionalen Ablenkung des Elektronenstrahles in horizontaler Richtung erzeugt wird.

Durch den Einsatz integrierter Schaltkreise zum Aufbau dieser Schaltungen läßt sich heute zusammen mit einer Elektronenstrahlröhre mit 3 cm Schirmdurchmesser ein sehr kompaktes, handliches Gerät aufbauen, das gut für den mobilen Einsatz geeignet ist.

6.1 BIFET-Operationsverstärker

Die Eingangsstufen des X- und des Y-Verstärkers sind mit einem sogenannten BIFET-Operationsverstärker aufgebaut,

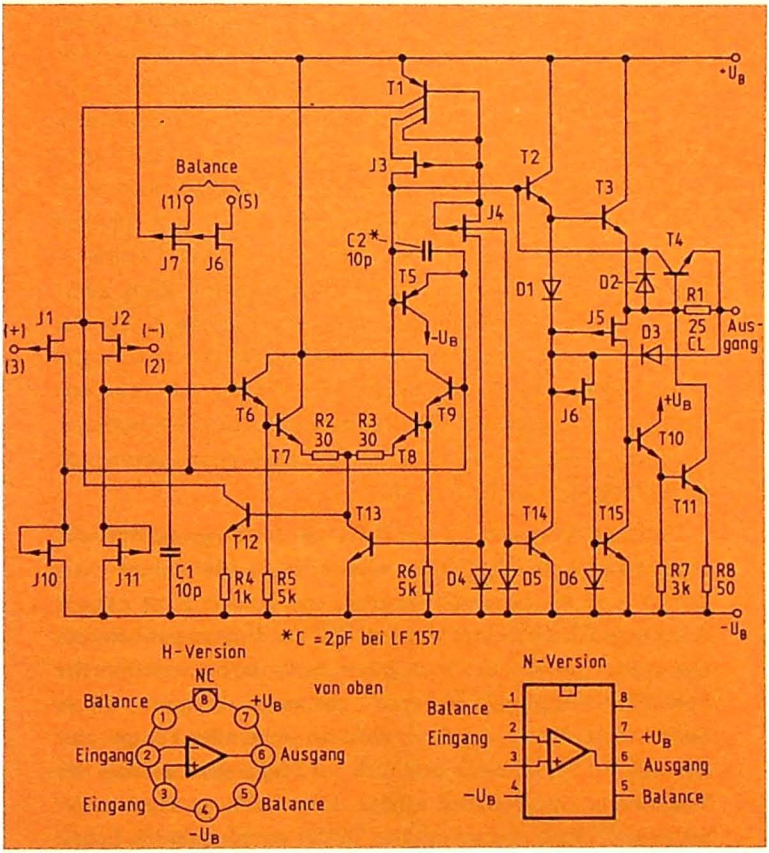


Abb. 14. Innenschaltung des BIFET-Operationsverstärkers LF 356/357

dessen Anschlußfolge und Innenschaltbild die *Abb. 14* wiedergibt. Diese monolithischen IC's enthalten auf dem selben Substrat integriert sowohl bipolare als auch JFET-Transistoren (*JFET: Junction-Field Effect Transistor*, Sperrschicht-Feldeffekttransistor). Die Eingangsstufe des Operationsverstärkers wird von den JFET J1 und J2 gebildet, J10 und J11 dienen als Konstantstromquellen zur Speisung der Eingangsstufe. Von dieser gelangt das Signal zu dem bipolaren Differenzverstärker Q 6...Q 9, wonach es von der Ausgangsverstärkerstufe mit Q 2...Q 4 und Q 10/11/14/15 so verstärkt wird, daß damit auch größere kapazitive Lasten bis zu 10 nF getrieben werden können. Die übrigen bipolaren Transistoren und JFET dienen als Konstantstromquellen zur Speisung der Verstärker. Es sind auch monolithisch integrierte Kondensatoren zur Frequenzkompensation in der Schaltung enthalten, deren Wert allerdings von der Bandbreite des Verstärkers abhängt: bei der Breitband-Ausführung LF 357 beträgt der Wert von C2 2 pF, bei den anderen beiden Typen LF 355/356 10 pF. Diese weisen dann zwar eine geringere Bandbreite von 2,5 bzw. 4,5 MHz gegenüber 20 MHz beim LF 357, aber auch einen geringeren Stromverbrauch als dieser auf.

Durch die Verwendung von JFET's in der Eingangsstufe des Operationsverstärkers wird eine Eingangsimpedanz von $10^{12}\ \Omega/3$ pF bei einem Offsetstrom von typisch 3 pA erzielt. Allerdings muß beachtet werden, daß der Eingangsruhestrom (*Input Bias Current*) des Verstärkers durch die Sperrströme der Feldeffekt-Eingangstransistoren zustande kommt. Diese Sperrströme verdoppeln ihren Wert bei steigender Temperatur etwa alle 10 °C, wodurch sich auch der Eingangsruhestrom des Verstärkers entsprechend erhöht. Dies kann zu einer unerwünschten Gleichspannungsdrift in der nachfolgenden Schaltung führen, so daß die Verwendung eines Kühlkörpers für das

IC empfohlen wird, um den internen Temperaturanstieg so gering wie möglich zu halten.

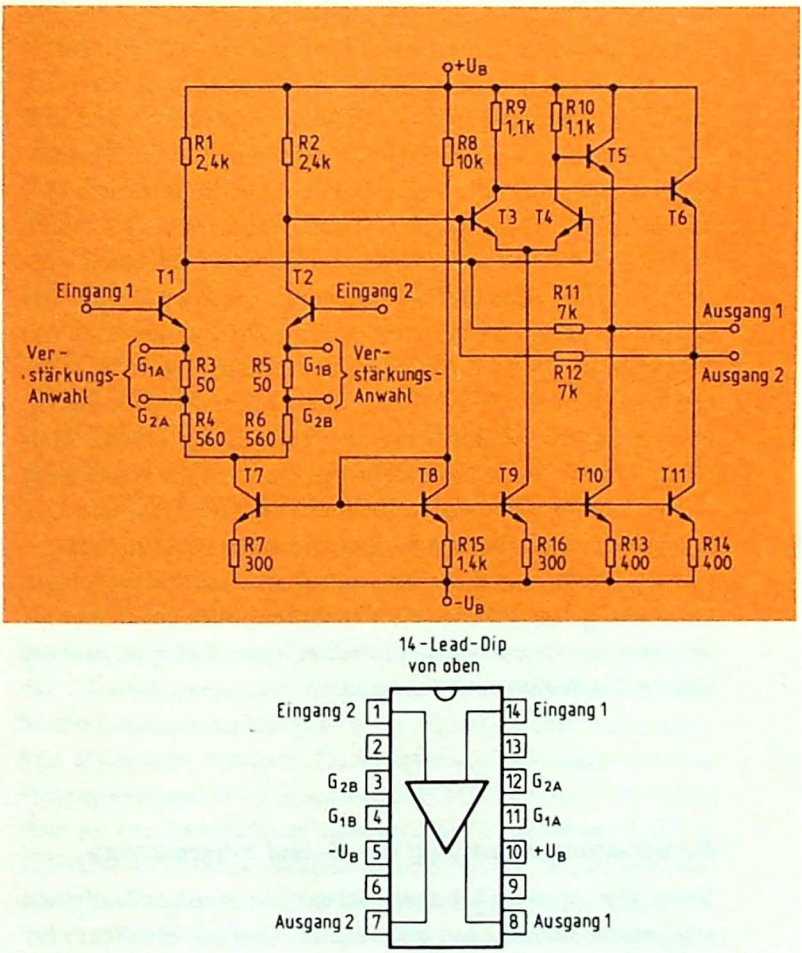


Abb. 15. Innenschaltung des Breitbandverstärker-IC's µA 733

6.2 Monolithisch integrierter Breitbandverstärker

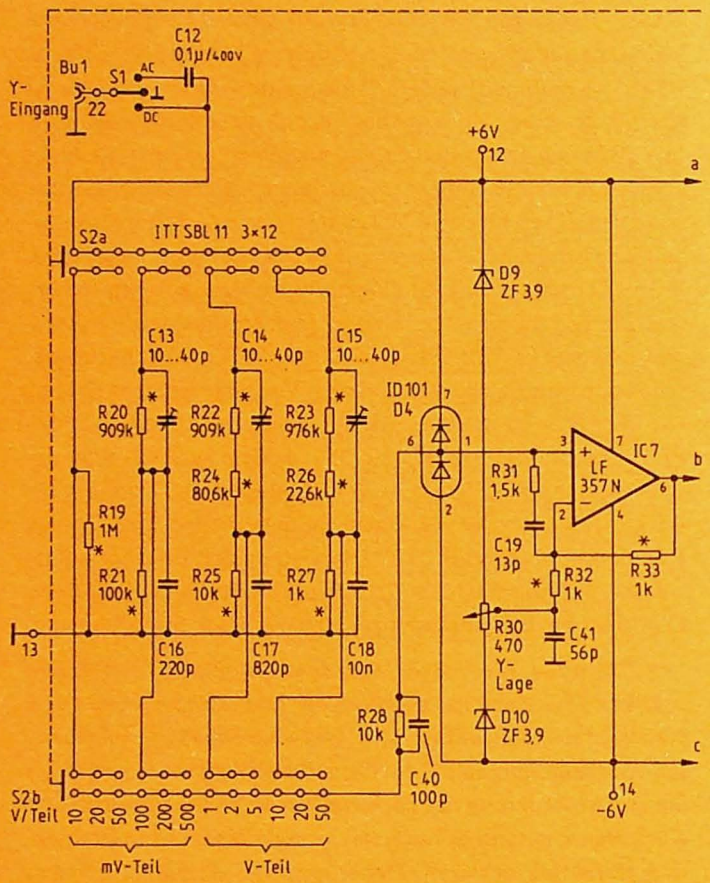
Abb. 15 zeigt die Innenschaltung des monolithisch integrierten Breitbandverstärker-IC's μA 733. Dieser Schaltkreis weist einige interessante elektrische Daten auf, die ihn für den Einsatz im Vertikalverstärker eines Oszilloskops geeignet machen. Es handelt sich um einen Gleichspannungsverstärker mit Differenz-Eingängen und -Ausgängen. Die Eingangsstufe wird von den Transistoren Q 1 und Q 2 gebildet, der mit Q 3 und Q 4 aufgebaute Differenzverstärker sorgt für eine weitere Verstärkung der Spannung, die schließlich über die Emitterfolger Q 5 und Q 6 an die Ausgänge gelangt. Die Transistoren Q 7...Q 11 sind als Konstantstromquellen zur Speisung der einzelnen Verstärkerstufen geschaltet. Als besondere Eigenschaft sind bei diesem Verstärker die Anschlüsse der Emitterwiderstände der Eingangsstufe (R 3...R 6) nach außen geführt. Durch Verbinden dieser Anschlüsse werden die internen Emitterwiderstände kurzgeschlossen, wodurch sich die Verstärkung erhöht. Man erhält so feste Verstärkungsfaktoren von 10 (alle Anschlüsse offen), 100 (G_{2A} und G_{2B} verbunden) und 400 (G_{1A} und G_{1B} verbunden). Dabei beträgt die Bandbreite des IC's 120, 90 bzw. 40 MHz! Wenn man einen Widerstand zwischen die Anschlüsse G_{1A} und G_{1B} legt, läßt sich die Verstärkung auch auf andere als die oben genannten Werte einstellen, ohne daß eine weitere äußere Beschaltung notwendig ist.

6.3 Schaltungsauslegung des X- und Y-Verstärkers

In der *Abb. 16* ist die Schaltung des mit den oben beschriebenen integrierten Schaltungen aufgebauten Vertikalverstärkers für das Oszilloskop gezeigt.

Der Eingangsteiler besteht aus frequenzkompensierten Spannungsteilern mit Teilerverhältnissen von 1:1, 10:1, 100:1, 1000:1. Kombiniert mit der Umschaltung dieser Teiler wird über S 2c eine Umschaltung der Verstärkung von IC 8 (µA 733) von 1x, 2x und 5x vorgenommen, so daß sich durch eine Kombination beider Umschaltungen Ablenkkoeffizienten von 10 mV/Teil bis zu 50 V/Teil mit einer 1-2-5-Stufung ergeben. Die genauen Verstärkungsfaktoren können mit R 37 (x1), R 36 (x2) und R 35 (x5) eingestellt werden. Als Umschalter wird ein Typ zur direkten Montage in der gedruckten Schaltung verwendet (ITT SBL 11, 3x12), um die Verbindungen zwischen der Eingangsbuchse und dem Verstärkereingang so kurz wie möglich zu halten. Als Eingangsstufe dient der BI-FET-Operationsverstärker LF 357, an dem auch mit R 30 die Lageregelung des Signals in Y-Richtung erfolgt. Da der Verstärker bei einer Verstärkung von 1 betrieben wird, ist das Kompensationsglied R 31/C 19 zwischen den Eingängen notwendig, um einen stabilen Betrieb zu gewährleisten. Die Diode D 4 dient als Eingangsschutzdiode (s. a. Kap. 5.3).

Am nichtinvertierenden Ausgang von IC 8 wird das Triggersignal für die Zeitbasis entnommen. Das Ausgangssignal von IC 8 wird schließlich von der in Kaskaden-Schaltung aufgebauten Ausgangsstufe mit T 4...T 7 auf eine Amplitude verstärkt, die zur Ansteuerung der Elektronenstrahlröhre ausreicht. Die Kaskadenschaltung läßt sich als eine Kombination aus Emitter- und Basisstufe erklären. Dabei wird die Basisstufe mit den Hochspannungs-Hf-Transistoren BF 469 (T 4 bzw. T 7) von den in Emitterschaltung arbeitenden Transistoren T 5/T 6 (2N708) im Stromquellenbetrieb angesteuert, so daß sich eine sehr gute Frequenzcharakteristik der Ausgangsstufe ergibt. Die Bandbreite der Ausgangsstufe wird durch die Verdrahtungs- und Ablenkplatten-Kapazitäten begrenzt, so daß zur Kompen-



* siehe Kap. 1

** siehe Kap. 6,5

Abb. 16. Schaltung des Y-Verstärkers des Oszilloskops

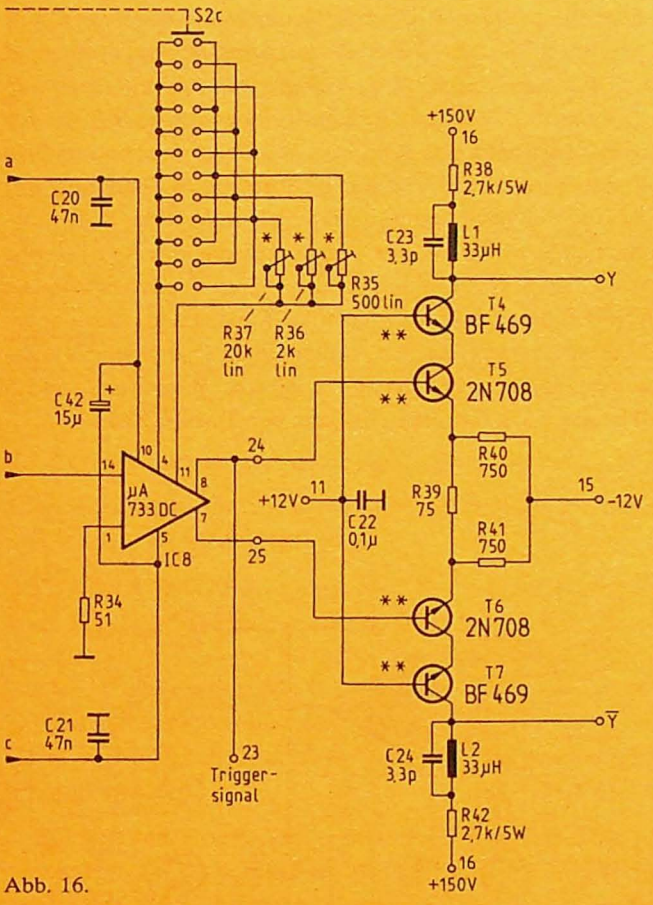

S2c
a
C20
47n
C42
15µ
b
µA
733 DC
IC8
R34
51
C21
47n
c
R37
20k
lin
R36
2k
lin
R35
500 lin
24
25
23
Trigger-
signal
+12V
11
C22
0,1µ
R39
75
+150V
16
R38
2,7k/5W
C23
3,3p
L1
33µH
Y
T4
BF 469
T5
2N708
R40
750
15
-12V
R41
750
T6
2N708
T7
BF 469
Ȳ
C24
3,3p
L2
33µH
R42
2,7k/5W
16
+150V

Abb. 16.

sation dieses Einflusses ein Kompensationsnetzwerk aus L 1/C 23 bzw. L 2/C 24 in Reihe mit dem Kollektorwiderstand geschaltet werden muß. Die Verstärkung der Ausgangsstufe wird durch das Verhältnis des Emitterwiderstandes R 39 zu den Kollektorwiderständen R 38 bzw. R 42 bestimmt und muß so gewählt werden, daß die von IC 8 gelieferte Spannung von 4 V_{ss} zur Vollaussteuerung ausreicht. Der Wert der Kollektorwiderstände bestimmt den Ausgangsstrom des Verstärkers. Dieser muß ausreichen, um bei der oberen Grenzfrequenz die Verdrahtungs- und Ablenkplatten-Kapazitäten umzuladen. Mit diesem recht einfachen Aufbau erhält man einen Verstärker mit einer Anstiegszeit von 100 ns, einer Bandbreite von 3,5 MHz und einer Eingangsimpedanz von 1 MΩ/15 pF.

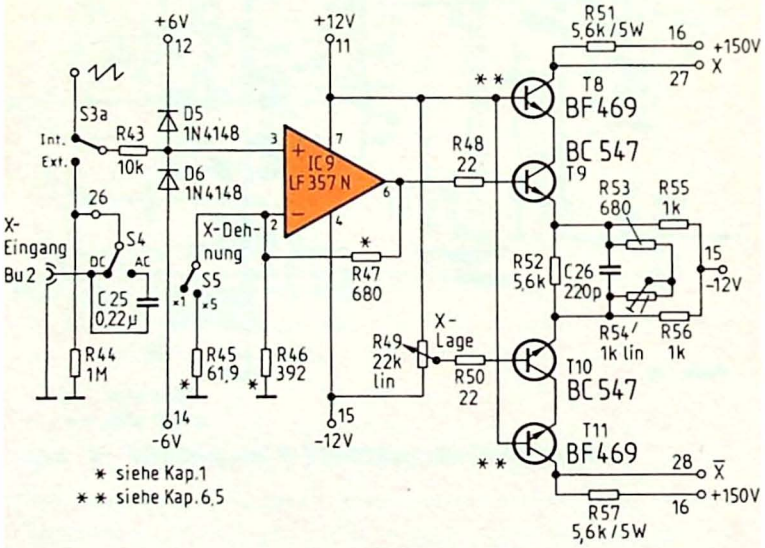


Abb. 17. Schaltung des X-Verstärkers des Oszilloskops

Abb. 17 zeigt die Schaltung des einfacher aufgebauten, aber prinzipiell genauso wie der Y-Verstärker ausgelegten X-Verstärkers. Eine Verstärkungsumschaltung zur Dehnung der Zeitachse wird dadurch erreicht, daß ein Widerstand (R 45) parallel zum Rückkopplungswiderstand R 46 geschaltet und so die Verstärkung von IC 9 verfünffacht wird.

Die Ausgangsstufe enthält parallel zum Emitterwiderstand R 52 ein Netzwerk zur Verstärkungseinstellung und zur Kompensation des Verstärkungsabfalls bei hohen Frequenzen. Die Bandbreite des X-Verstärkers beträgt 3,2 MHz (0,5 V/Teil Eingangsempfindlichkeit) bzw. 0,8 MHz (0,1 V/Teil).

6.4 Schaltungsauslegung der Zeitbasis

Die Zeitbasis ist mit fünf integrierten Schaltungen aufgebaut und in *Abb. 18* wiedergegeben.

IC 10 (µA 710) ist ein Komparator-IC, das zur Umformung einer beliebigen Eingangsspannung in eine Rechteckspannung dient. Die Transistoren T 12 und T 13 bewirken eine Erhöhung der Eingangsimpedanz. Mit R 62 wird die Triggerschwelle eingestellt und mit S 6 können die Triggerflanke (+ = ansteigende, – = abfallende Signalflanke) und die Triggersignalquelle gewählt werden.

Das von dem Komparator gelieferte Rechtecksignal gelangt an den Eingang des D-Flipflops IC 11 (CD 4013), das bei Eintreffen des ersten Triggerimpulses einen Impuls an IC 12 abgibt und dann für weitere Triggerimpulse gesperrt bleibt, bis es von der Schaltung wieder zurückgesetzt wird. IC 12 (CD 4528) beinhaltet zwei monostabile Multivibratoren, die bei Eintreffen eines Triggerimpulses an Anschluß 5 bzw. 12 einen Ausgangsimpuls abgeben, dessen Länge von der Größe des externen

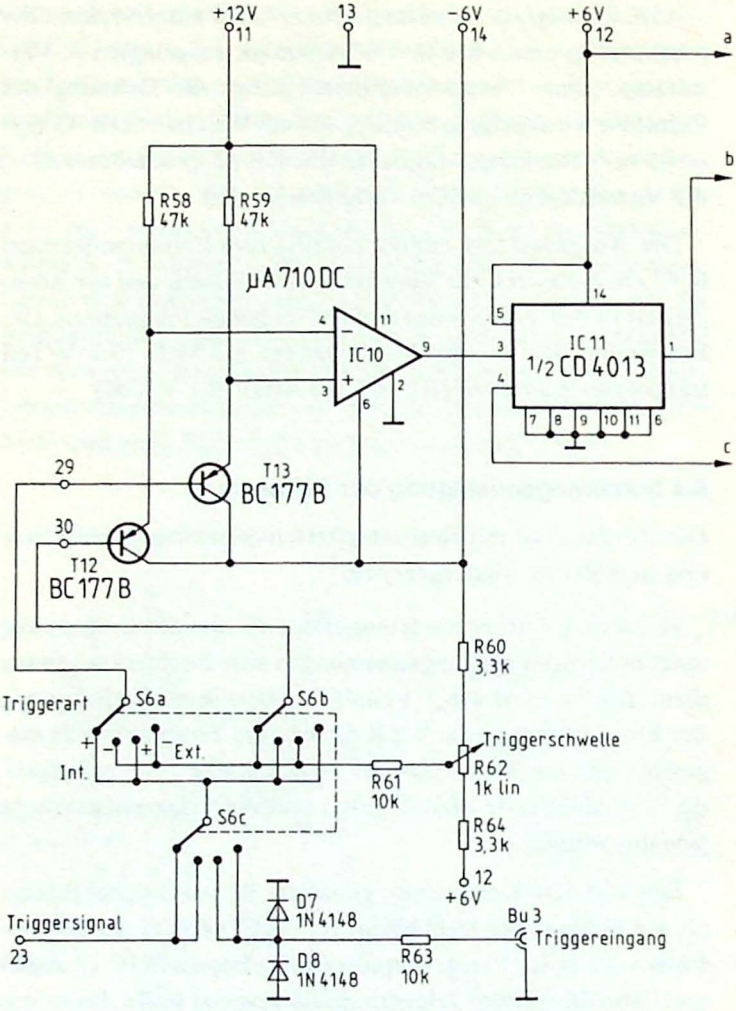
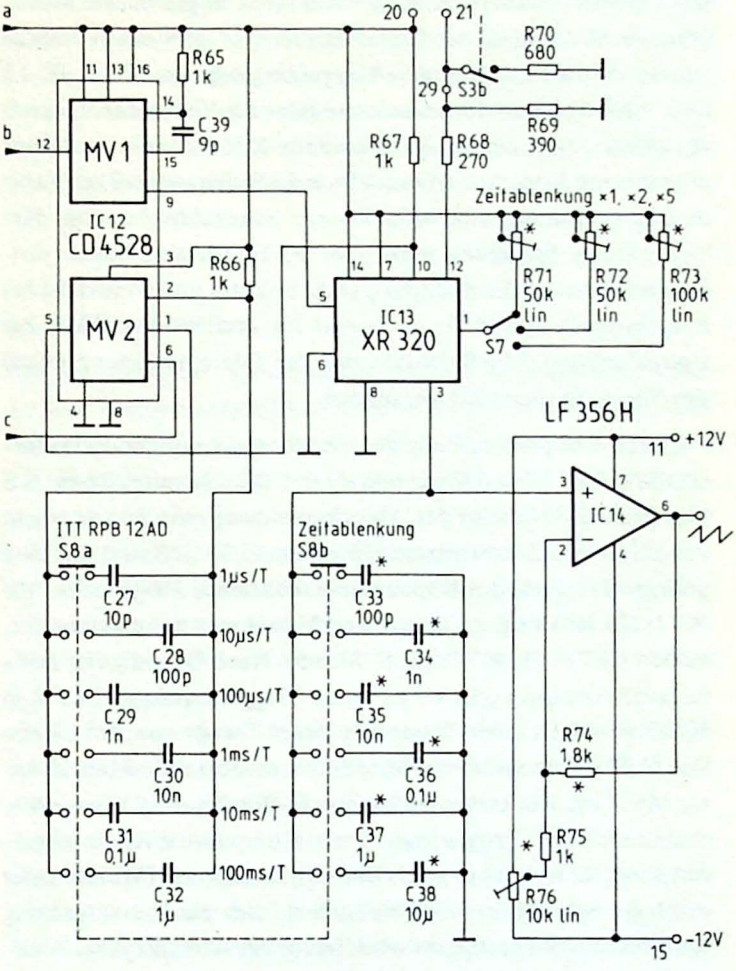


Abb. 18. Schaltung der Zeitbasis des Oszilloskops



* siehe Kap.1

Abb. 18

RC-Gliedes bestimmt wird. Der von IC 11 angesteuerte Multivibrator MV 1 dient als Impulsformer und gibt einen Impuls von ca. 50 ns Dauer an den Triggereingang von IC 13. IC 13 (XR 320) ist ebenfalls ein monostabiler Multivibrator. Der am Anschluß 3 liegende zeitbestimmende Kondensator wird über eine interne Konstantstromquelle aufgeladen, so daß die Kondensatorspannung eine sehr lineare Sägezahnspannung darstellt. Diese Spannung wird über IC 14 (dessen hoher Eingangswiderstand die Spannung nicht belastet und so verfälscht) ausgekoppelt und dient als Signal für den X-Verstärker zur Zeitablenkung. Mit R 76 läßt sich der Gleichspannungsanteil der Sägezahnspannung verändern.

Durch eine Umschaltung der frequenzbestimmenden Widerstände R 71...73 und Kondensatoren C 33...38 mit S 7 bzw. S 8 läßt sich die Zeitdauer der Ablenkspannung zwischen 1 µs und 0,5 s/Teil in 1-2-5-Schritten einstellen. C 33...38 sind auf eine geringe Toleranz des Kapazitätsverhältnisses ausgesucht. Mit R 71...73 läßt sich die Dauer der Ablenkspannung genau einstellen (R 71: x1, R 72: x2, R 73: x5). Nach Beendigung eines Sägezahnimpulses gibt IC 13 einen Triggerimpuls an MV 2 in IC 12 ab. Nach einer Wartezeit, deren Dauer von der Größe von C 27...32 bestimmt wird, gibt der monostabile Multivibrator MV 2 ein Rücksetzsignal an das D-Flipflop IC 11, so daß es erneut auf einen Triggerimpuls vom Komparator IC 10 reagieren kann. Durch diese sog. *Hold-Off*-Schaltung (Warte- oder Aufhalte-Schaltung) wird verhindert, daß die Zeitablenkung durch ein Signal getriggert wird, bevor ein Ablenkzyklus beendet ist. Die Länge der Wartezeit wächst mit länger werdender Ablenkzeit, was durch eine Umschaltung des externen Kondensators C 27...32 von MV 2 mit S 8a parallel mit der Umschaltung des die Ablenkzeit bestimmenden Kondensators C 33...38 erreicht wird.

Am Anschluß 12 von IC 13 wird über einen aus R 68 und R 69 bestehenden Spannungsteiler das Signal zur Austastung des Elektronenstrahles während des Abfalls bzw. Rücklaufs der Zeitablenkspannung entnommen. Durch Parallelschalten von R 70 zu R 69 mit S 3b wird die Austastung für den X-Y-Betrieb des Oszilloskops abgeschaltet.

6.5 Aufbauhinweise

Die Schaltung zur Spannungsversorgung des Oszilloskops und die der Elektronenstrahlröhre ist in *Abb. 19* dargestellt. Die Niederspannungen von +6 V, +12 V, −6 V und −12 V werden mit Festspannungsregler-IC's stabilisiert. Die Versorgungsspannung für die Endstufen des X- und des Y-Verstärkers von +150 V wird mit einem einstellbaren Spannungsregler-IC vom Typ µA 78 MG (IC 5) geregelt, dessen Ausgangsspannungsbereich durch die Transistoren T 1 und T 2 erweitert wird. Die Diode D 1 dient zum Schutz des Regeleingangs von IC 5 gegen Spannungsspitzen.

Die Erzeugung der Hochspannung für die Elektronenstrahlröhre erfolgt über einen einfachen Brückengleichrichter (Gr 4) mit nachfolgendem Glättungskondensator C 10.

Ebenfalls in Abb. 19 ist die Schaltung zur Strahlaustastung abgebildet. Sie enthält einen Optokoppler (IC 6), über den die Potentialtrennung erfolgt. Die LED im Optokoppler wird über R 68 vom Zeitablenkteil angesteuert. Die Ausgangsspannung des Optokopplers wird über T 3 verstärkt, der den Abgriff von R 17 (Helligkeitsregler) auf negativeres Potential legt und so eine Dunkeltastung des Elektronenstrahls bewirkt. Mit R 8 kann der Arbeitspunkt der Austastschaltung eingestellt werden, was bei hohen Ablenkfrequenzen erfolgen sollte.

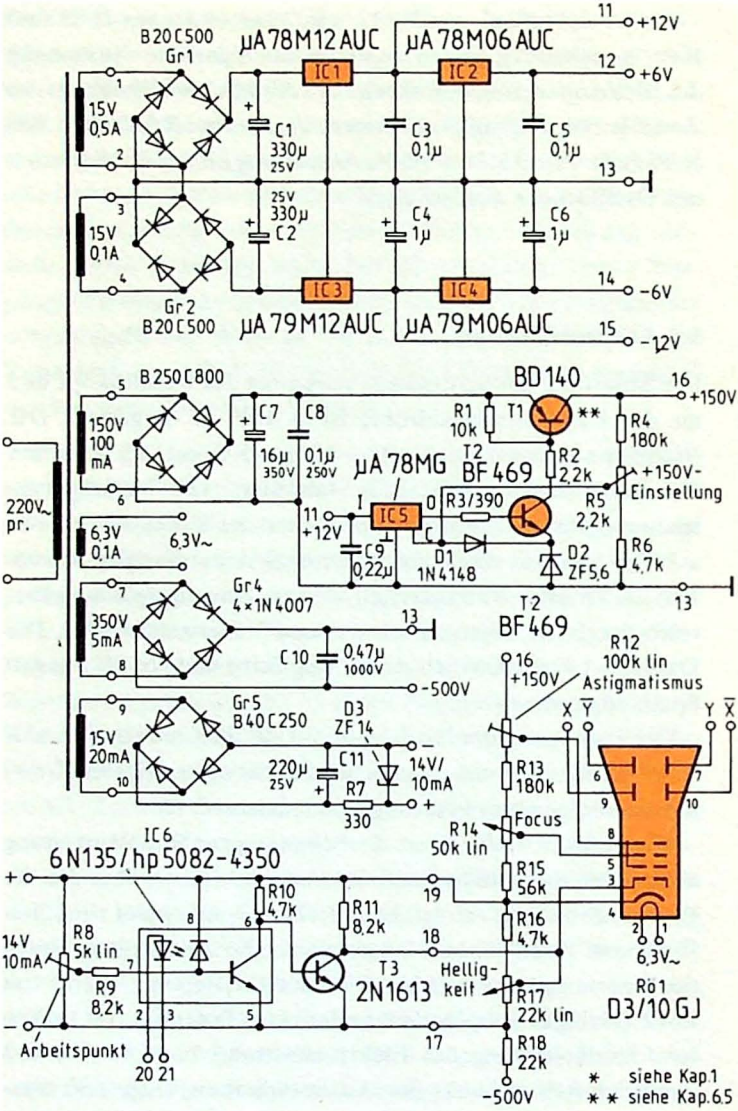


Abb. 19. Schaltung der Stromversorgung und der Elektronenstrahlröhre

Die hier verwendete Elektronenstrahlröhre verfügt über einen Schirmdurchmesser von 3 cm und eignet sich wegen ihrer geringen Abmessungen gut für den Einsatz in kleinen, transportablen Geräten, außerdem ist sie recht preiswert. An ihrer Stelle kann aber auch jede andere Elektronenstrahlröhre mit größerem Schirmdurchmesser Verwendung finden, was den Vorteil einer größeren Auflösung und Ablesegenauigkeit bringt. Allerdings müssen dann die Verstärkungsfaktoren und Ausgangsspannungen des X- und des Y-Verstärkers sowie die Hochspannung an die verwendete Röhre angepaßt werden. Die Verstärkung und Ausgangsspannung der Verstärker ist jetzt so bemessen, daß bei Verwendung der D 3/10 GJ *1 Teil* einer Ablenkung von *0,5 cm* entspricht.

Alle in den Schaltbildern Abb. 16...19 mit ** bezeichneten Transistoren müssen mit einem Kühlkörper versehen werden, der bei T 1, T 4, T 7, T 8, T 11 einen Wärmewiderstand von höchstens 17 °C/W haben darf, während T 5 und T 6 mit Kühlsternen für TO-18-Gehäuse gekühlt werden können. Im Anhang Kap. 8.1 sind die Vorlagen für vier gedruckte Schaltungen mit Bestückungsplänen zum Aufbau des Oszilloskops wiedergegeben.

Auf der ersten Platine ist der Y-Verstärker untergebracht. Sie ist so ausgelegt, daß alle seine Bedienungselemente (S 1, S 2, R 30) auf ihr untergebracht sind und sollte senkrecht hinter der Frontplatte des Gerätes befestigt werden. Die Endstufe des Y-Verstärkers befindet sich nicht auf der Platine, so daß sie direkt an der Fassung der Elektronenstrahlröhre aufgebaut werden kann, um durch sehr kurze Verbindungen einen möglichst großen Frequenzbereich übertragen zu können.

Die zweite Platine ist zur Aufnahme des Zeitablenkteils und des X-Verstärkers ausgelegt. Auch hier sind die Bedienungs-

elemente (S 3, S 5, S 7, S 8, R 49) auf der Platine untergebracht, aber so, daß die Achsen senkrecht zur gedruckten Schaltung stehen. Daher muß die Montage der Platine entweder parallel zur Frontplatte oder zu einer Seitenwand des Gehäuses erfolgen. S 8 (ITT RPB 12 AD, 2x6) kann direkt in die Platine eingelötet werden, die anderen Schalter müssen über kurze Drähte mit der gedruckten Schaltung verbunden werden. Besonders beim Anschluß von R 62 an die Platine sollte auf sehr kurze Verbindungen geachtet werden.

Beide Platinen sind für die Aufnahme des LF 357 *N* im achtpoligen DIL-Gehäuse ausgelegt, da der Schaltkreis in diesem Gehäuse ein stabileres Frequenzverhalten aufweist als im runden Metallgehäuse (*H*-Version).

Die Spannungsversorgung zur Erzeugung der Betriebsspannungen von +6 V, +12 V, −6 V, −12 V und +150 V ist auf einer weiteren Platine untergebracht.

Die vierte Platine enthält die Schaltung zur Hochspannungserzeugung für die Elektronenstrahlröhre, die Strahlaustastschaltung und die Hilfsspannungserzeugung (Gr 5, C 11, R 7 und D 3) für diese Schaltung. Da sich die gesamte Schaltung auf einem Potential von ca. −500 V gegen Masse befindet, muß die Platine gut isoliert und gegen unabsichtliche Berührung geschützt im Gerät angebracht werden!

Die Elektronenstrahlröhre sollte in einem Abschirmzylinder aus Mu-Metall untergebracht werden und der Netztransformator sollte hinter (nicht seitlich von) der Elektronenstrahlröhre angebracht sein und zwar in Richtung von deren Längsachse. So wird eine Beeinflussung des Elektronenstrahls durch magnetische Störfelder vermieden. Das fertige Gerät verfügt über folgende Daten:

Y-Verstärker:	Bandbreite:	0 Hz...3,5 MHz
	Anstiegszeit:	100 ns
	Ablenkkoeffizienten:	10 mV/Teil...50 V/Teil in 1-2-5-Stufen
X-Verstärker:	Bandbreite:	0 Hz...3,2 MHz bzw. 0,8 MHz
	Anstiegszeit:	110 ns bzw. 450 ns
	Ablenkkoeffizienten:	0,5 V/Teil bzw. 0,1 V/Teil
Zeitablenkung:	Zeitmaßstab:	0,5 s/Teil...1 µs/Teil in 1-2-5-Stufen
	Dehnung:	5fach
	Triggerung:	intern/extern, +/–
	Triggerempfindlichkeit:	10 mV, 1 Hz...5 MHz
Leistungsverbrauch:		20 VA

7 Universalzähler

Als Universalzähler bezeichnet man einen Frequenzzähler, der durch zusätzliche Schaltungen so erweitert wurde, daß mit ihm auch Messungen der Periodendauer eines Signals, Ereigniszählungen, Messungen des Frequenzverhältnisses zweier Signale sowie Messungen eines Zeitintervals zwischen zwei Triggerimpulsen möglich sind.

Diese zusätzlichen Möglichkeiten sind besonders bei Arbeiten an digitalen Schaltungen sehr nützlich. Der Aufbau eines solchen Universalzählers mit diskreten Bauelementen erforderte einen sehr hohen Aufwand, und auch bei der Realisierung der Schaltung mit SSI-Bausteinen (*SSI: Small Scale Integration*, Schaltungen geringer Integrationsdichte) waren noch einige zehn dieser IC's nötig.

Seit neuestem sind LSI-Schaltungen (*LSI: Large Scale Integration*, Schaltungen großer Integrationsdichte) erhältlich, bei denen sämtliche aktiven Bauelemente zur Bildung eines kompletten Universalzählers auf einem Chip integriert sind. Ein solcher Baustein ist der nachfolgend besprochene ICM 7226.

7.1 Universalzähler-IC in CMOS-Technik

In *Abb. 20* ist das Blockschaltbild der Innenschaltung des Universalzähler-IC's ICM 7226 AIDL wiedergegeben. Obwohl die integrierte Schaltung in CMOS-Technik aufgebaut ist, sind alle Ein- und Ausgänge voll gegen statische Entladung ge-

schützt, so daß auf eine besondere Behandlung des IC's verzichtet werden kann.

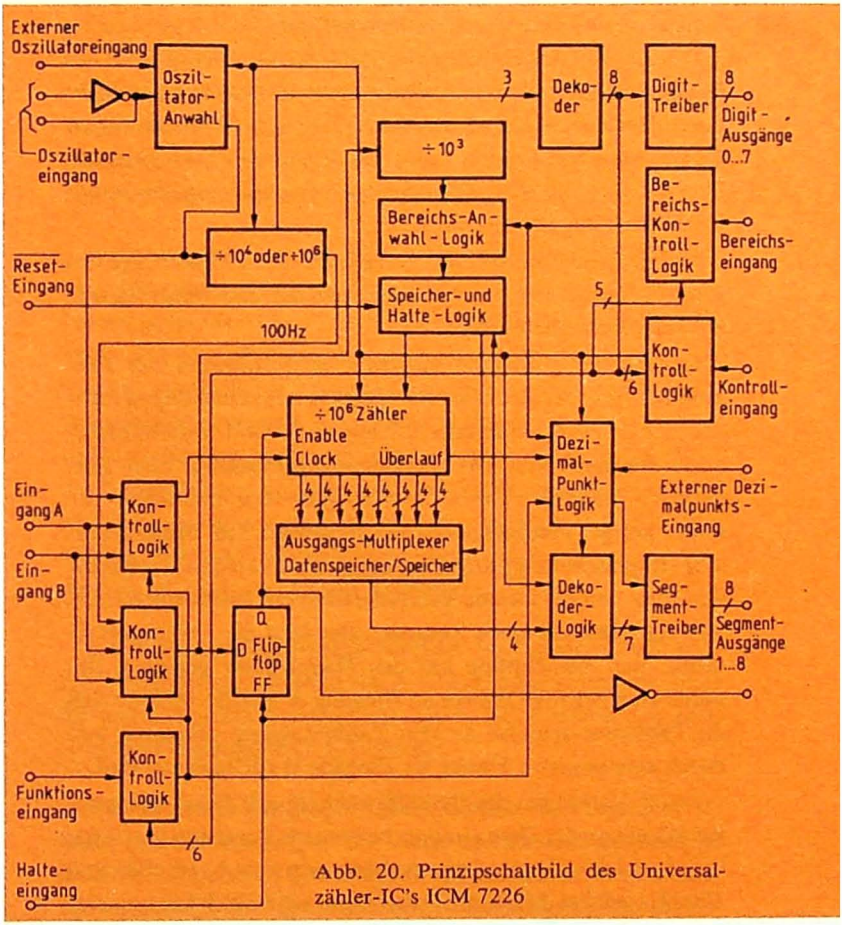


Abb. 20. Prinzipschaltbild des Universalzähler-IC's ICM 7226

Der interne Oszillator ist zum Betrieb mit 10-MHz- und 1-MHz-Quarzen ausgelegt, wobei seine Stabilität nur von der Frequenzstabilität des verwendeten Quarzes abhängig ist. Außerdem kann über den Eingang *Ext Osc Input* eine externe Frequenz, die etwa aus einem Frequenznormal stammen kann, zur Steuerung des Zählers verwendet werden.

Die Anwahl der Funktion des Zählers, der Torzeit (also des Meßbereiches) und verschiedener Sonderfunktionen geschieht durch Verbinden des betreffenden Eingangs (*Function Input, Range Input* und *Control Input*) mit einem der *Digit Outputs*, über die auch die achtstellige Siebensegmentanzeige im Multiplexbetrieb angesteuert wird.

Eine interne *Control Logic* vergleicht die zeitliche Lage des Eingangssignals mit einem Referenzsignal und wählt danach die entsprechende Funktion aus.

Je nach der gewählten Funktion wird entweder der Eingang A (*Input* A) direkt an den Eingang des achtstelligen Zählers gelegt (Frequenzzähler), Eingang A und Oszillatorfrequenz werden vertauscht (Periodendauermessung) oder Eingang A wird an den Haupt- und Eingang B an den Referenzzähler gelegt (Frequenzverhältnismessung). Zur Ereigniszählung (Impulszählung) wird Eingang A direkt an den Hauptzähler gelegt und die interne Oszillatorfrequenz bleibt unbenutzt, und zur Messung eines Zeitintervalls wird die Oszillatorfrequenz über ein Flipflop auf den Hauptzähler gegeben, das durch eine negative Flanke an Eingang A gesetzt wird, so daß die Oszillator-Impulse an den Zählereingang gelangen, und durch eine negative Flanke an Eingang B rückgesetzt wird.

Durch Verbinden des Bereichswahl-(*Range Select-*)Einganges mit einem der *Digit Outputs* lassen sich Torzeiten von 0,01, 0,1, 1 und 10 s Dauer bzw. Auflösungen von 1, 10, 100 und 1000 Hz wählen. Mit dem *Control Input* schließlich können ver-

schiedene Sonderfunktionen aktiviert werden, so z. B. Anzeigentest (alle Segmente der acht Siebensegment-Anzeigen werden angesteuert), Wahl der Oszillatorbetriebsart (10-MHz- oder 1-MHz-Quarz bzw. externer Oszillator) oder Anwahl eines extern einzustellenden Dezimalpunktes. In dieser Betriebsart wird die Stellung des Dezimalpunktes durch Verbinden des *Ext D. P. Input* mit den *Digit Outputs* bestimmt, während sie sonst von der internen Logik kontrolliert wird. Dies ist von Vorteil, wenn vor dem Eingang des Frequenzzählers ein Frequenzteiler angebracht ist, um den Dezimalpunkt entsprechend dem Teilerverhältnis verschieben zu können.

Außerdem verfügt der Schaltkreis noch über einen *Hold*- und einen *Reset*-Eingang, mit denen die Anzeige des letzten Wertes gespeichert bzw. auf Null gesetzt werden kann. Das IC ist zur direkten Ansteuerung von Siebensegment-LED-Anzeigen mit gemeinsamer Anode ausgelegt, wobei vorzugsweise mehrstellige Anzeigen, bei denen die Segmente intern miteinander verbunden sind, verwendet werden sollten, um die Zahl der Verbindungen so gering wie möglich zu halten. Durch die Multiplex-Ansteuerung der Funktionseingänge ist die Zahl der äußeren Bauteile auf ein Minimum von einigen Schaltern, Widerständen und dem Quarz beschränkt.

Zur Spannungsversorgung benötigt der Baustein eine positive Versorgungsspannung von 5 V, wobei die Stromaufnahme bei abgeschalteter Anzeige nur 2 mA, bei Ansteuerung aller Anzeigen maximal 500 mA beträgt.

Die maximale Eingangsfrequenz beträgt für Eingang A 10 MHz und für Eingang B 2,5 MHz, und Periodenmessungen sind von 0,5 µs bis zu 10 s möglich. Als zusätzliche Möglichkeiten bietet der ICM 7226 AIDL noch Steuerausgänge zur Steue-

rung von Vorteilern sowie Multiplex-BCD-Ausgänge zur digitalen Weiterverarbeitung der Meßwerte.

7.2 Eingangsverstärker und Vorteiler mit ECL-IC's

Da die Eingänge des ICM 7226 AIDL wie die der meisten Zähler Digitaleingänge sind, benötigen sie zu ihrer Ansteuerung Signale von einigen Volt mit kurzen Anstiegs- und Abfallzeiten. Um jedoch auch langsam verlaufende Signale und solche mit kleiner Amplitude messen zu können, bedarf es eines Vorverstärkers. Außerdem kann der Meßbereich für Frequenzmessungen durch Vorschalten eines Vorteilers 10:1 auf 100 MHz erweitert werden.

Auch diese Schaltung läßt sich mit IC's aufbauen, die jedoch über eine hohe Grenzfrequenz und kurze Schaltzeiten verfügen müssen. Dazu bedient man sich der ECL-Technik (*ECL: Emitter Coupled Logic*, Emitter-gekoppelte Logik), die über sehr kurze Schaltzeiten im ns-Bereich und darunter verfügt.

Abb. 21 zeigt die Innenschaltung des ECL-Komparator-IC's Am 685, das einen Verstärker mit sehr hoher Verstärkung darstellt, die bei 100 MHz noch 1000 beträgt! Es weist eine Komplentär-Endstufe auf, die zur Vermeidung von Störeinkopplungen über einen eigenen Masseanschluß verfügt. Die Schottky-Dioden D 1...D 4 sorgen dafür, daß die entsprechenden Transistoren nicht in die Sättigung geraten können, was die Schaltgeschwindigkeit reduzieren würde. Auf diese Weise lassen sich Werte der Verzögerungszeit von typisch 5 ns und der Haltezeit von 1 ns (!) erreichen. Die Grenzfrequenz beträgt ca. 300 MHz bei einer Eingangsempfindlichkeit von ±20 mV in 50 Ω.

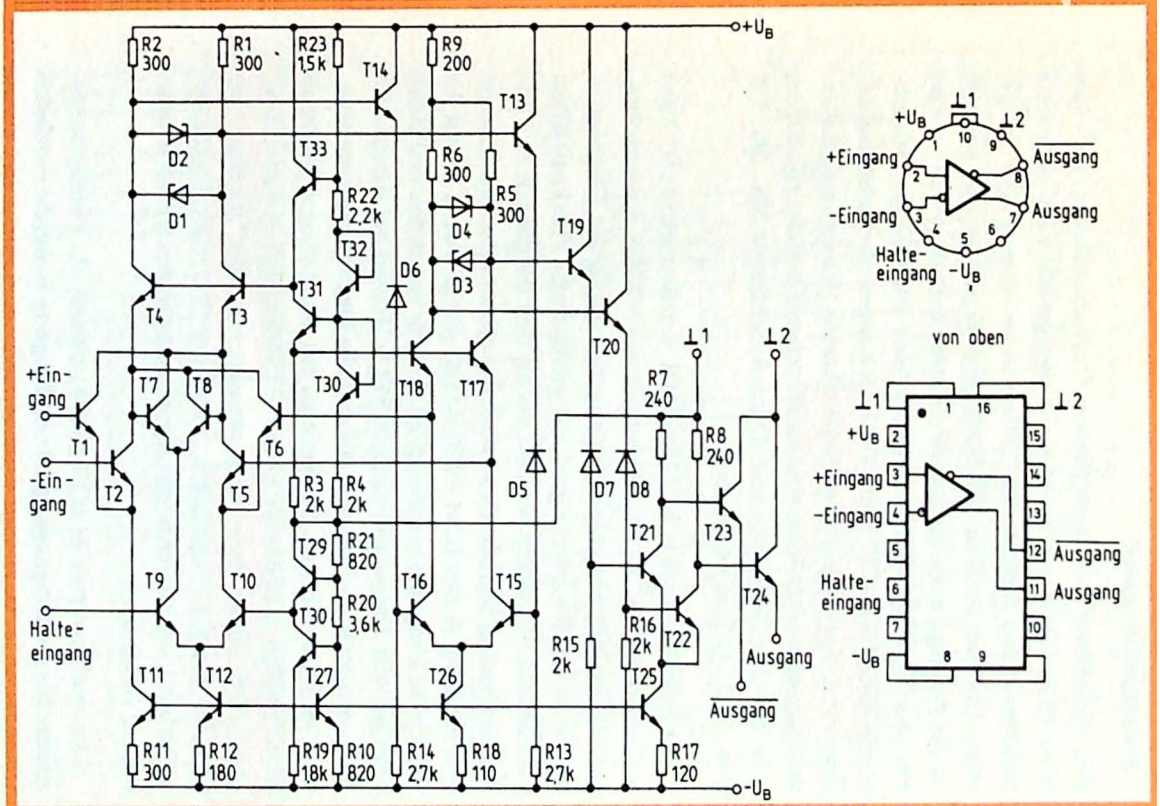


Abb. 21. Innenschaltung des ECL-Komparators AM 685

7.3 Aufbauhinweise

Die Schaltung des kompletten Universalzählers mit dem ICM 7226 AIDL ist in *Abb. 22* dargestellt. Eine gedruckte Schaltung zum Aufbau des Zählers ist im Anhang Kap. 8.1 gezeigt. Um den Aufbau möglichst flexibel gestalten zu können, ist die Anzeige nicht mit auf der Platine enthalten. Für sie wird hier der Typ DL 4530 verwendet, eine vierstellige, rotleuchtende Anzeige mit 13 mm Höhe. Es können aber auch alle anderen Anzeigen mit gemeinsamer Anode Verwendung finden, ihre Segmentanschlüsse sind entsprechend parallel zu schalten und mit den Segment- und Digit-Anschlüssen SA...SG, DP bzw. D 0...D 7 zu verbinden.

Die Schaltung des ICM 7226 AIDL wurde noch um IC 2 und IC 3 erweitert. IC 2 (74132) enthält vier NAND-Schmitt-Trigger, die erstens beliebige Eingangssignale für die Eingänge A und B in ein Rechtecksignal mit genügender Flankensteilheit verwandeln. Zweitens werden die an den Eingängen A 1 und A 2 liegenden Signale elektronisch wechselweise mit S 1a auf den Eingang A des ICM 7226 AIDL gelegt. An A 1 liegt die verstärkte Eingangsspannung, an A 2 die verstärkte und durch zehn geteilte Eingangsfrequenz. Mit S 1b wird bei Anwahl des 10:1-vorgeteilten Eingangs die externe Dezimalpunktansteuerung aktiviert, so daß die Anzeige mit der richtigen Dezimalstelle erfolgt. Außerdem sorgt S 3b dafür, daß in allen Funktionsarten außer bei Frequenzmessung eine Anzeige von „8.8.8.8.8.8.8.8." erscheint, wenn der Vorteilereingang gewählt wird, um so Fehlmessungen in den anderen Funktionsarten zu verhindern.

Die drei Inverter in IC 3 (7404) dienen als Verzögerungsglieder für das Eingangssignal von Eingang B, um die durch den Vorverstärker/Vorteiler und die Umschaltgatter (IC 2) am

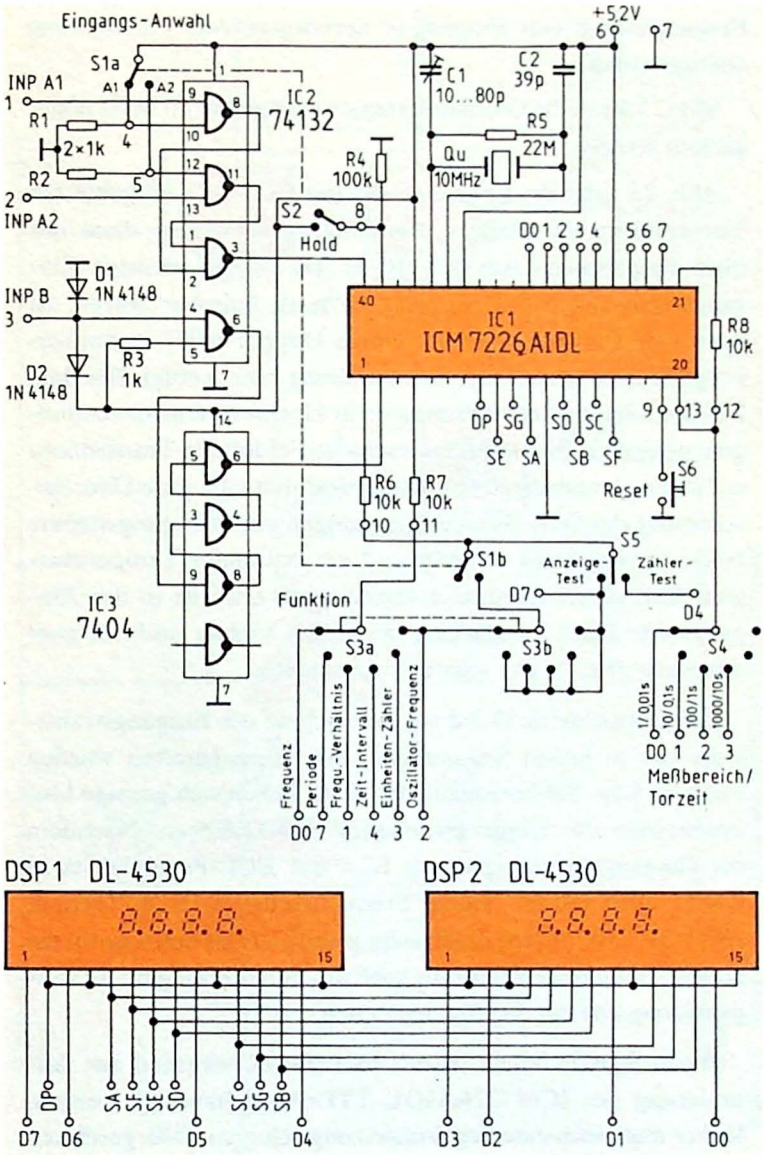


Abb. 22. Schaltbild des Universalzählers

Eingangssignal von Eingang A hervorgerufene Verzögerung auszugleichen.

Mit C 1 kann die Oszillatorfrequenz auf genau 10 MHz abgeglichen werden.

Abb. 23 zeigt die Schaltung des mit ECL-IC's aufgebauten Vorverstärkers/Vorteilers. Als Eingangsverstärker dient der oben besprochene Am 685 (IC 4). Da dessen niedrige Eingangsimpedanz das Meßobjekt zu stark belasten würde, ist noch eine Eingangsstufe mit einem Doppel-JFET in Source-Folgerschaltung zur Impedanzwandlung hinzugefügt. Bei dem 2 N 5912 handelt es sich um zwei für Hochfrequenzanwendungen geeignete N-Kanal-Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren auf einem gemeinsamen Substrat, wodurch eine gute Übereinstimmung der Gate-Source-Spannungen und Sättigungsströme beider Transistoren erreicht und ein optimaler Temperaturgleichlauf dieser Parameter erzielt wird. Dies ist in der Eingangsstufe eines Verstärkers besonders wichtig und mit zwei einzelnen JFET's nur schwer zu erreichen.

Die Doppeldiode D 3 dient zum Schutz des Eingangstransistors vor zu hohen Spannungen, ihre Eigenschaften wurden schon in Kap. 5.3 behandelt. Mit R 12 lassen sich geringe Unsymmetrien der Eingangstransistoren ausgleichen. Nachdem die Eingangsspannung durch IC 4 auf ECL-Pegel verstärkt wurde, wird sie mit einem Frequenzteiler in ECL-Technik (IC 5, SP 8505/8515) durch zehn geteilt, so daß nun sowohl die direkte Eingangsfrequenz als auch die durch zehn geteilte Eingangsfrequenz zur Verfügung stehen.

Beide Signale haben jedoch ECL-Pegel, während zur Ansteuerung des ICM7226AIDL TTL-Pegel benötigt werden. Daher muß noch eine Pegelumsetzung erfolgen. Dies geschieht mit IC 6 (9595), das zwei ECL/TTL-Pegelumsetzer enthält.

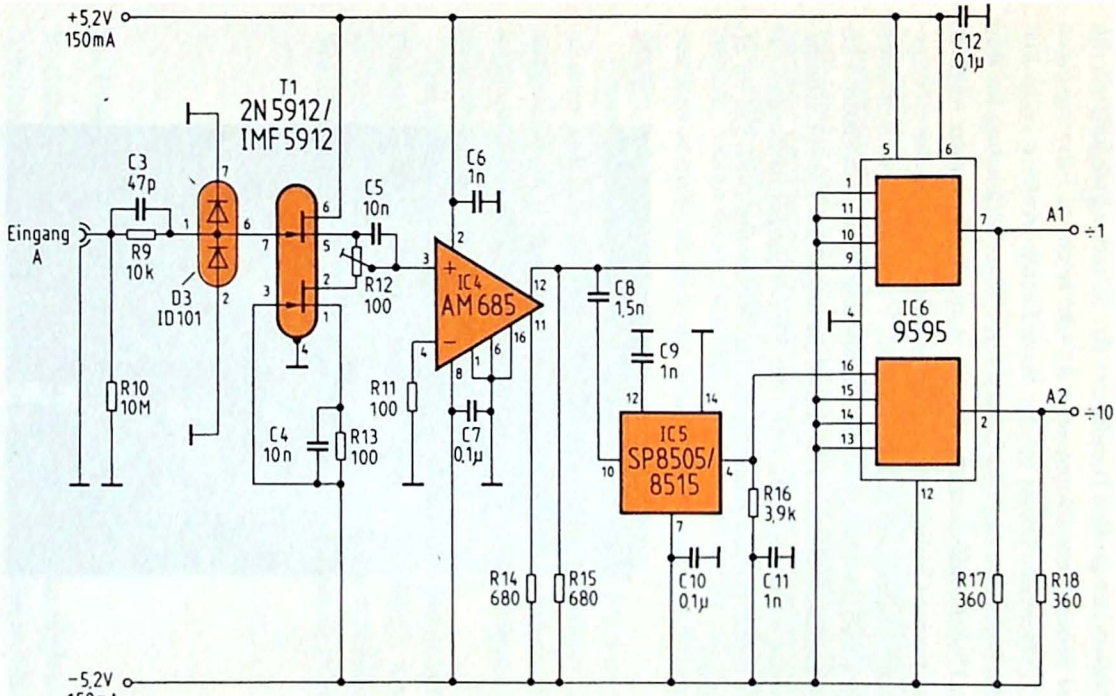


Abb. 23. Schaltung des Eingangsverstärkers mit Vorteiler

Wegen der großen Bandbreite der Schaltung zusammen mit ihrer hohen Verstärkung neigt sie sehr leicht zu Schwingungen im Hf-Bereich. Daher ist der mechanische Aufbau recht kritisch, und sollte nur von Lesern mit einiger Erfahrung im Bau von Hochfrequenzschaltungen in Angriff genommen werden. Aus diesem Grunde wurde auch von der Wiedergabe einer gedruckten Schaltung zum Aufbau des Vorverstärkers/Vorteilers abgesehen. In *Abb. 24* ist die Anordnung der IC's in einem Versuchsaufbau zu sehen. Dabei sind die möglichst kurze Leitungsführung sowie das Abblocken der Versorgungsspannungen der IC's direkt an den Anschlüssen mit Kondensatoren gut zu erkennen.

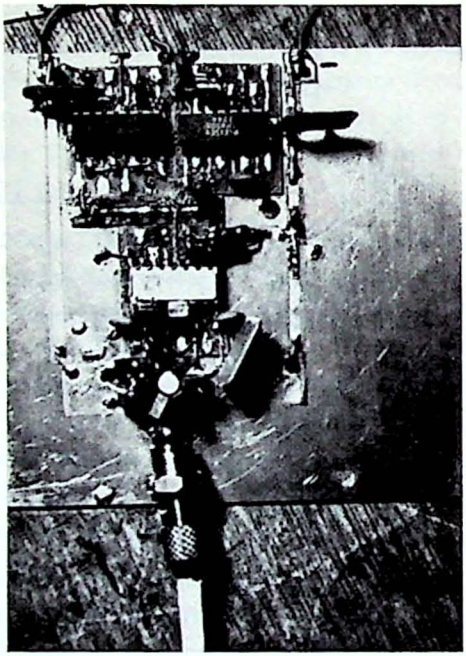


Abb. 24. Versuchsaufbau des Vorverstärkers

8 Anhang

Im Anhang sind unter 8.1 die Platinen mit den zugehörigen Bestückungsplänen zum Aufbau der in den Kap. 3...7 beschriebenen Geräte im Maßstab 1:2 dargestellt. Die Nummern der Anschlüsse der Platinen decken sich mit den in den entsprechenden Schaltbildern angegebenen Nummern der Verbindungspunkte, wobei diese Anschlußpunkte nicht immer am Rand, sondern manchmal auch im Innern der gedruckten Schaltung liegen.

Unter 8.2 ist ein ausführliches Literaturverzeichnis zu finden, in dem insbesondere die Datenblätter der verwendeten IC's aufgeführt sind. Der interessierte Leser hat so die Möglichkeit, an Hand dieser Datenblätter selbst Schaltungen mit diesen IC's zu entwickeln.

Das Bezugsquellenverzeichnis 8.3 entspricht dem Stand bei Drucklegung des Buches und nennt stellvertretend die Adressen einiger Firmen, über die alle in diesem Buch verwendeten Spezialteile zu beziehen bzw. Auskünfte über andere Lieferanten zu erhalten sind.

8.1 Platinenvorlagen

Nachfolgend sind die Vorlagen zu den Platinen zum Aufbau der Schaltungen aus Kap. 3...7 mit den Bestückungsplänen wiedergegeben (*Abb. 25...40*).

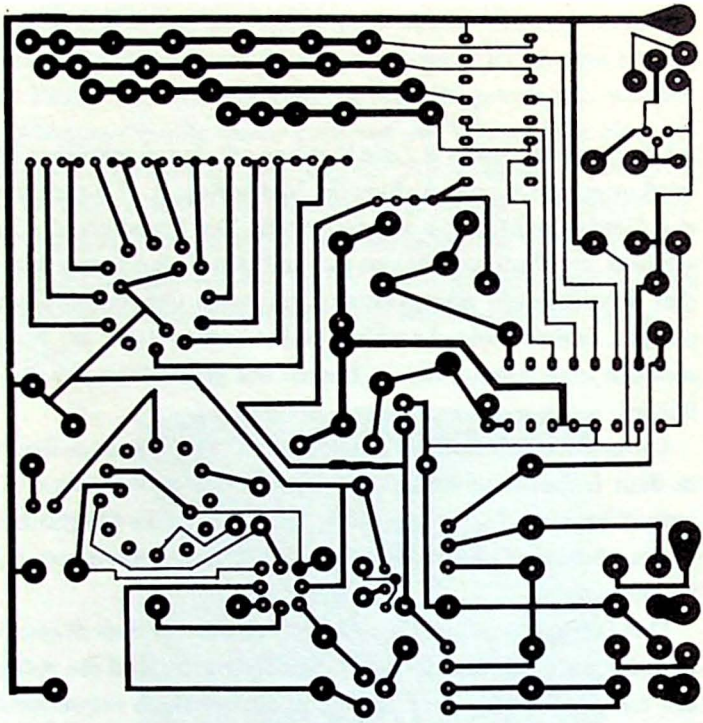


Abb. 25. Gedruckte Schaltung zu Abb. 6

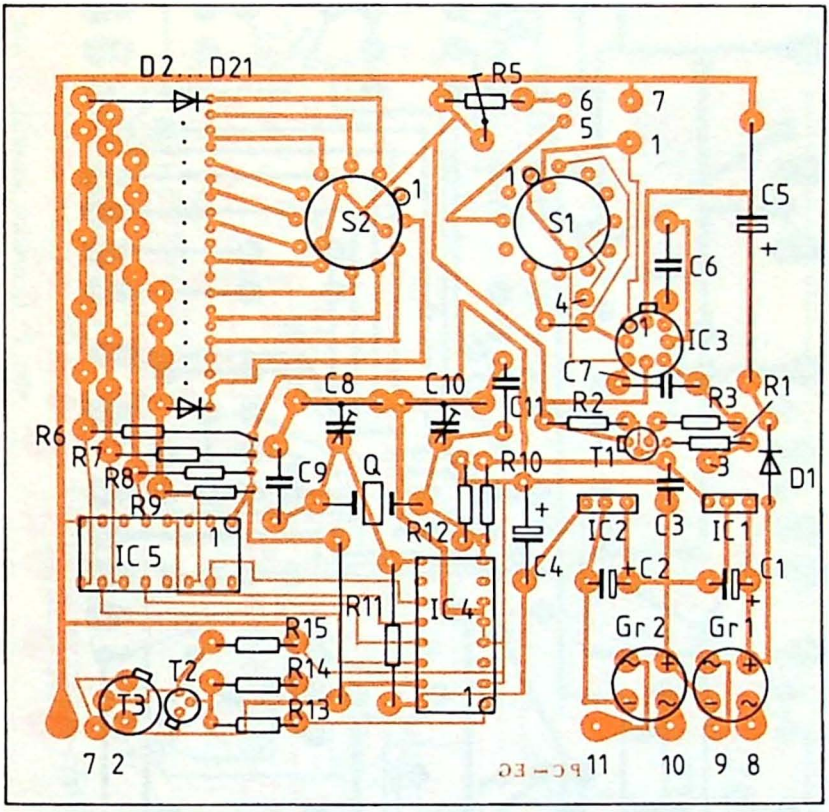


Abb. 26. Bestückungsplan zu Abb. 25

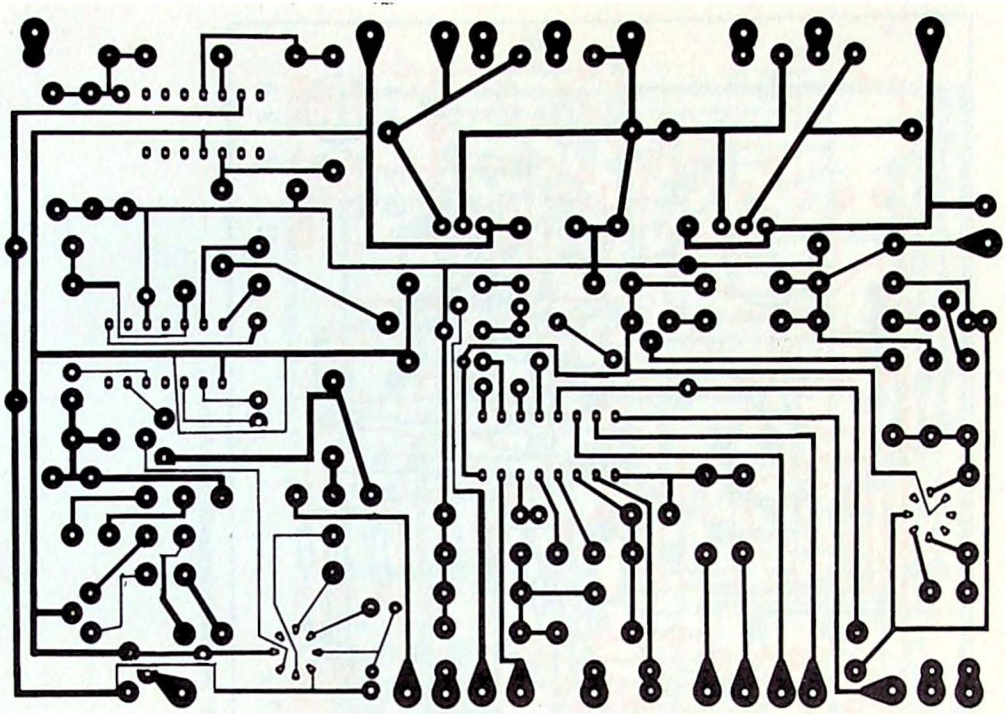


Abb. 27 Gedruckte Schaltung zu Abb. 9

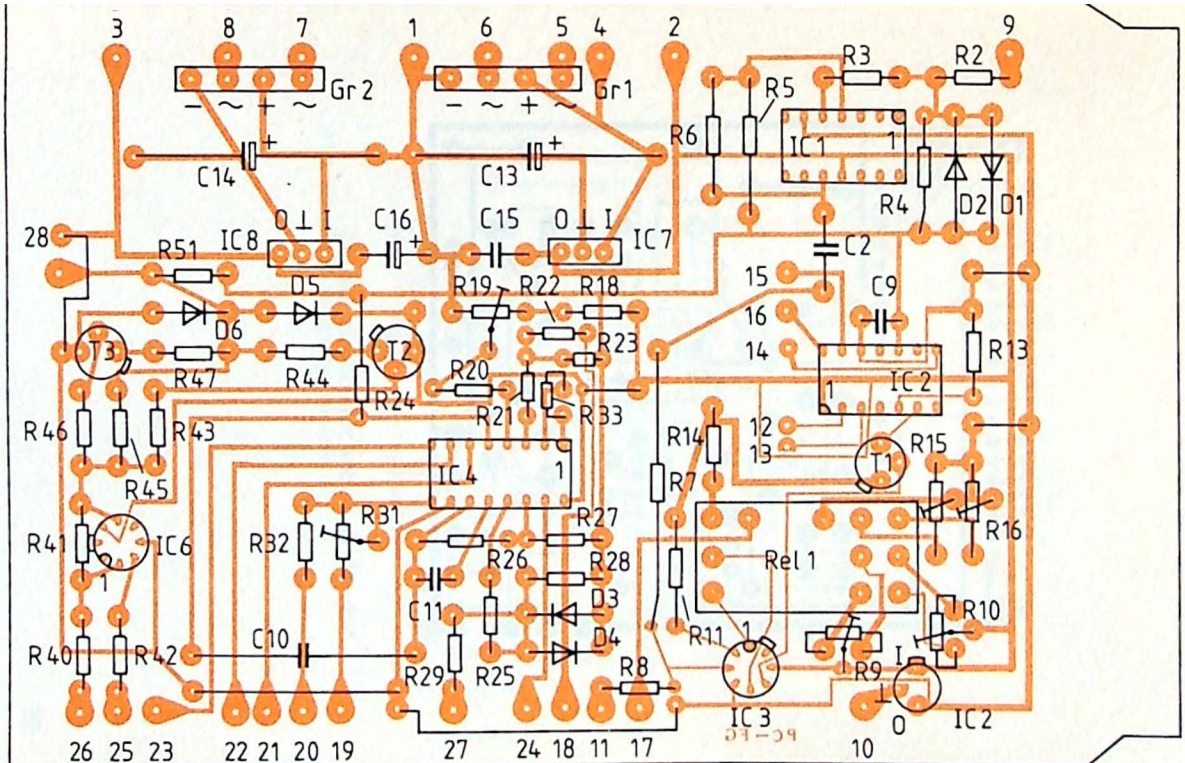


Abb. 28. Bestückungsplan zu Abb. 27

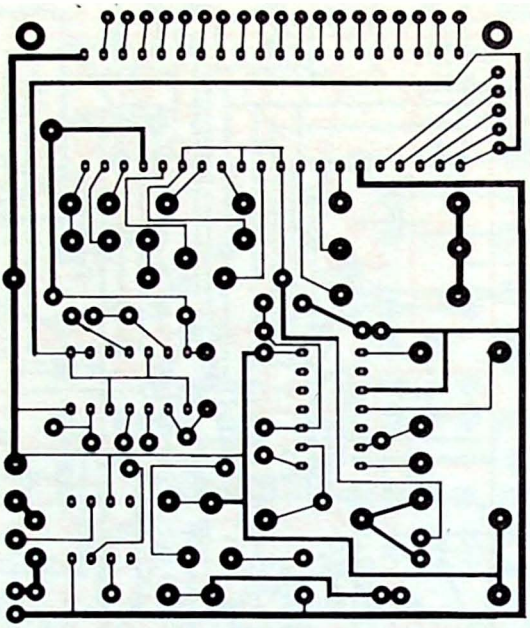


Abb. 29. Gedruckte Schaltung zu Abb. 12

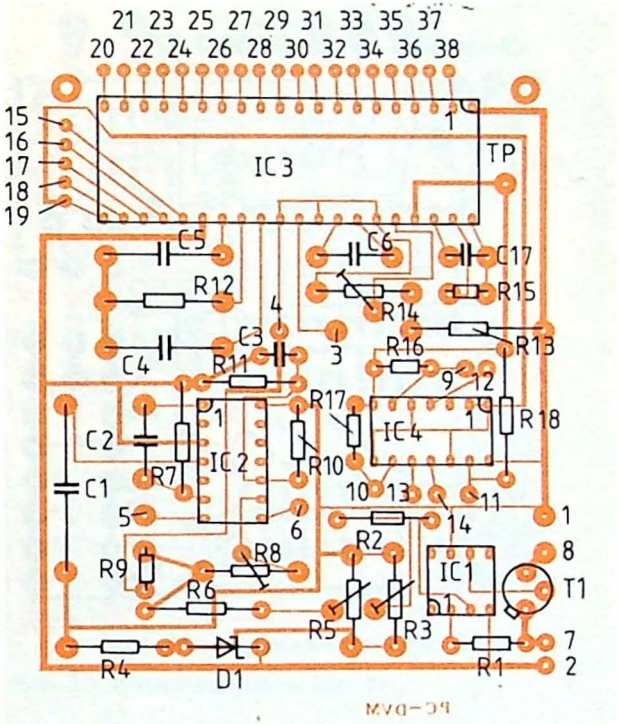


Abb. 30. Bestückungsplan zu Abb. 29

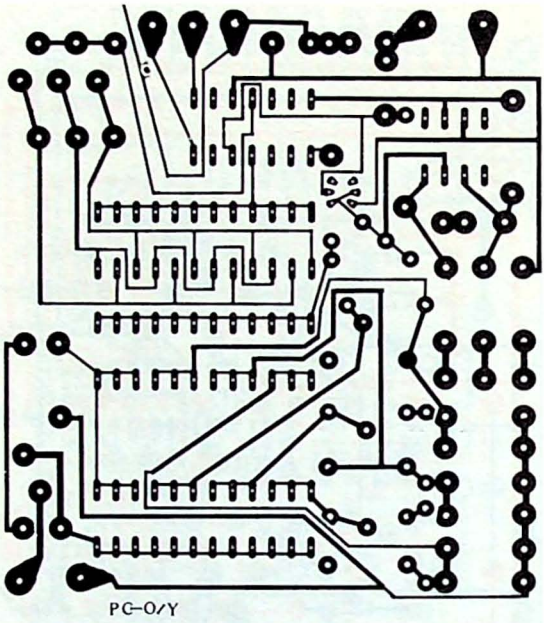


Abb. 31. Gedruckte Schaltung zu Abb. 16

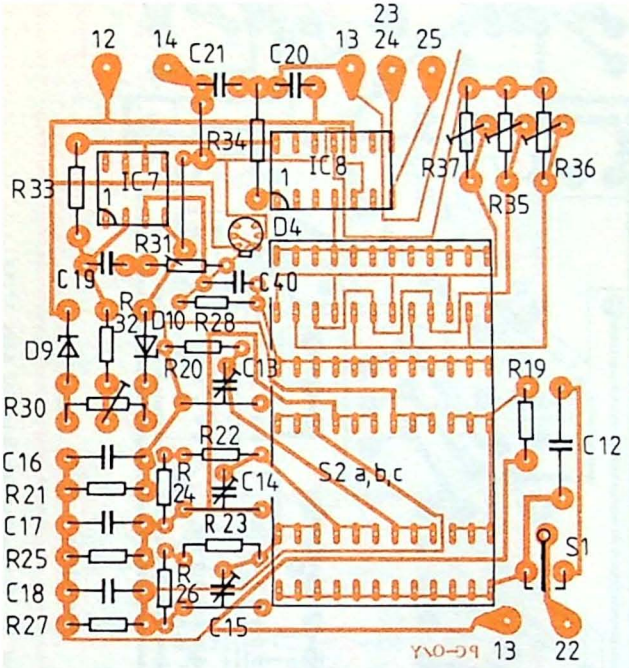


Abb. 32. Bestückungsplan zu Abb. 31

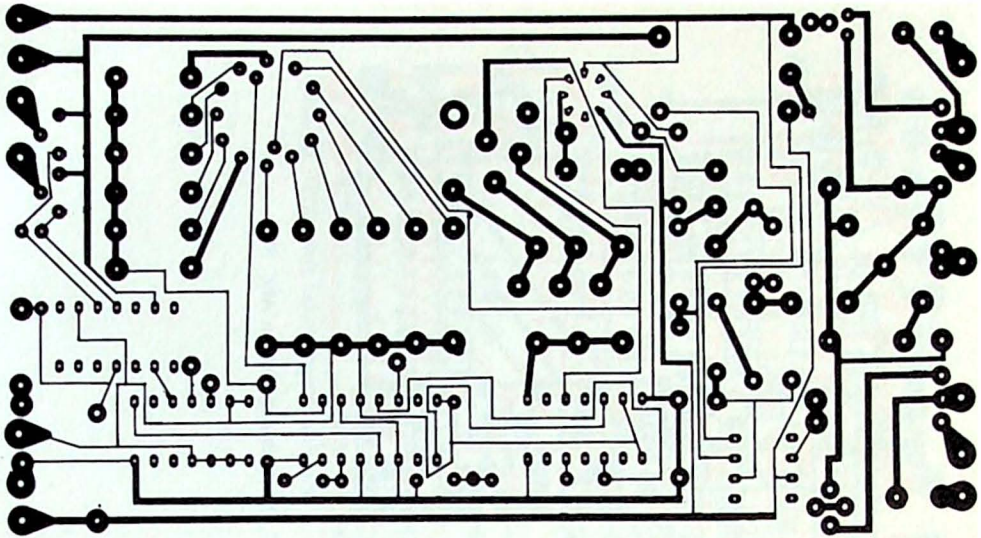


Abb. 33. Gedruckte Schaltung zu Abb. 17/18

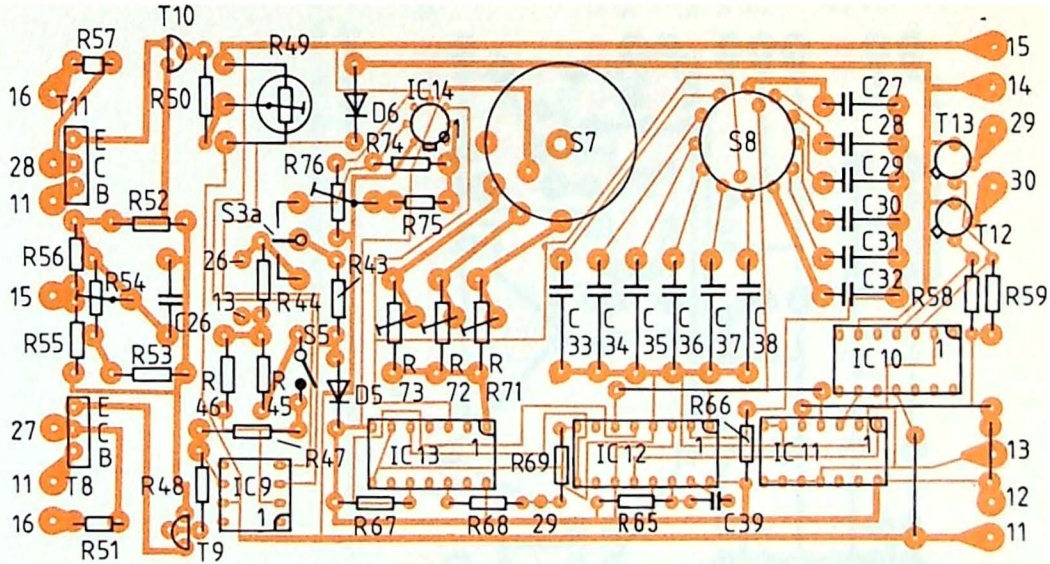


Abb. 34. Bestückungsplan zu Abb. 33

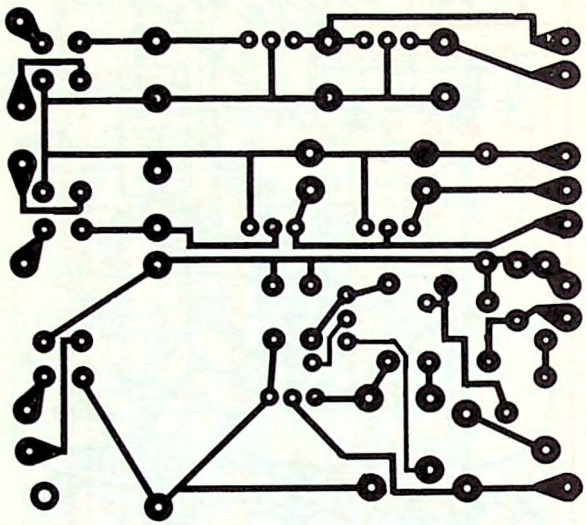


Abb. 35. Gedruckte Schaltung zu Abb. 19 (Stromversorgung)

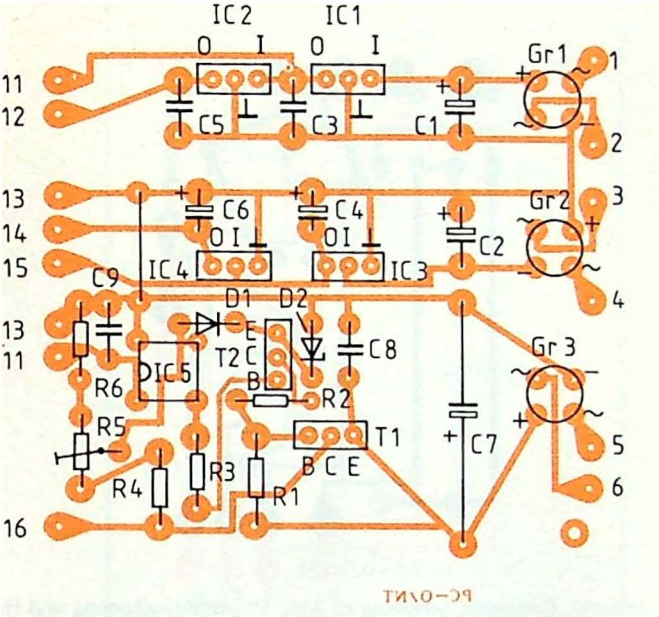
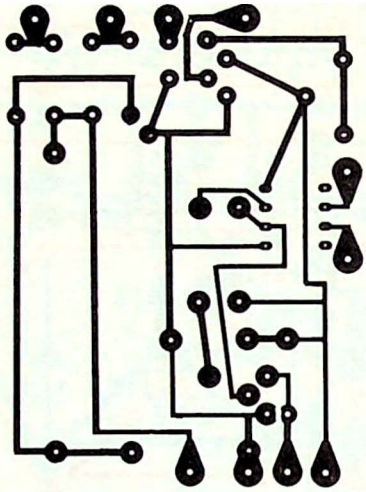


Abb. 36. Bestückungsplan zu Abb. 35



PC– O/HVAT

Abb. 37. Gedruckte Schaltung zu Abb. 19 (Strahlaustastung und Hochspannungserzeugung)

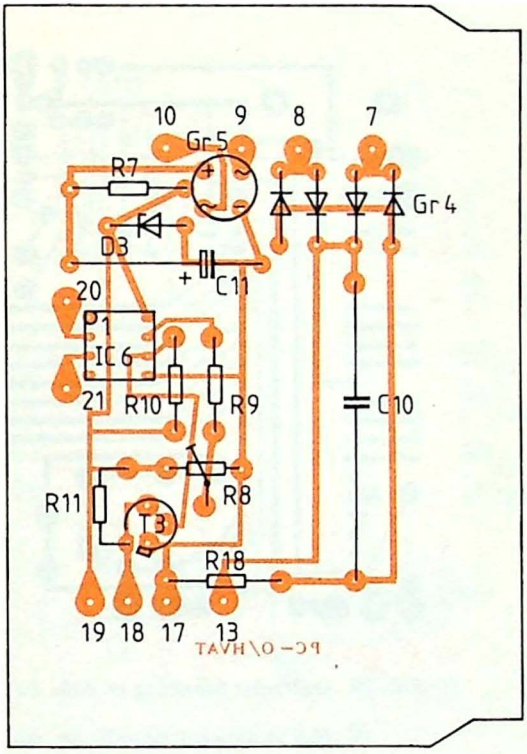
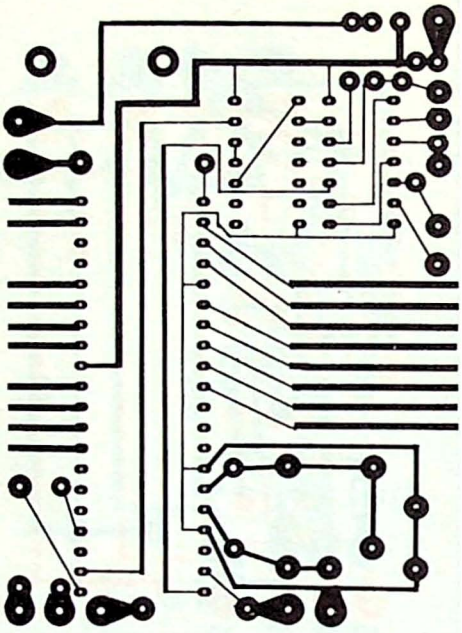


Abb. 38. Bestückungsplan zu Abb. 37



PC – FZ

Abb. 39. Gedruckte Schaltung zu Abb. 22

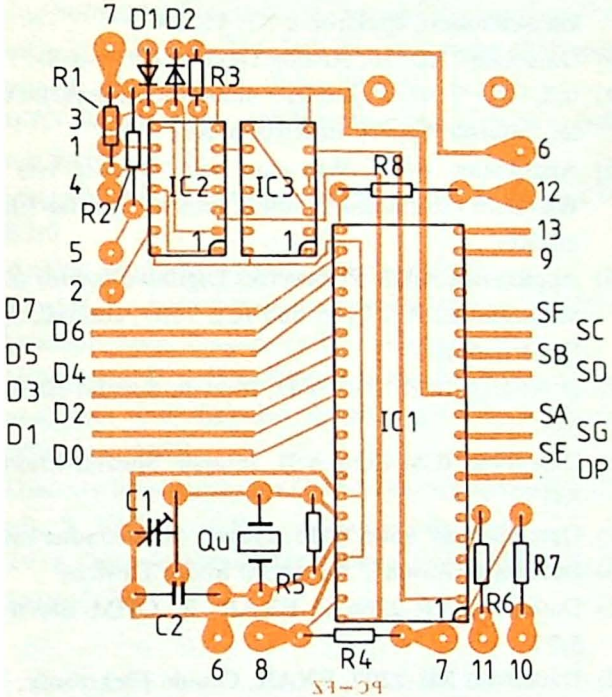


Abb. 40. Bestückungsplan zu Abb. 39

(1) Datenblatt L 200, SGS ATES, 1/78
(2) Koch, E.: Integrierter Spannungsregler ist einstellbar und kurzschlußfest, Elektronik Nr. 11, 1977
(3) Datenblatt AD536, Analog Devices C414-8-8/77
(4) ICL 7106/7107, $3^1/_2$stelliger monolithischer A/D-Wandler, Intersil, Spezial Elektronik KG
(5) Applikation A018, Was man beim Einsatz von A/D-Wandlern tun und lassen sollte, Intersil, Spezial-Elektronik KG
(6) Applikation A023, Preiswertes Digitalvoltmeter mit den Schaltkreisen ICL 7106 und ICL 7107, Intersil, Spezial Elektronik KG
(7) Datenblatt ICM 7216 A-D, Intersil, Spezial-Elektronik KG
(8) Datenblatt ICM 7226 A/B, Intersil, Spezial-Elektronik KG
(9) Datenblatt SP 8505/8515, Plessey Semiconductors
(10) Datenblatt Am685, Advanced Micro Devices
(11) Datenblatt XR-2206 C, EXAR, R. OHM Electronics, 5/77
(12) Datenblatt XR-2207, EXAR, Gonda Elektronik, 10/74
(13) Datenblatt XR-2208, EXAR, Gonda Elektronik, 2/75
(14) Datenblatt AD 584, Analog Devices, C473-8-6/78
(15) Datenblatt MK 5009, Mostek Corporation, 1977, CI 3004/476 Rev B
(16) Mostek Application Note, 2/77, Using Mostek's MK 5009 Counter Time-Base Circuit
(17) Datenblatt D 3-10GJ, Telefunken
(18) Datenblatt LF355/356/357, Linear Databook, National Semiconductor, 1978, S. 3...12 ff.

(19) Application Note 116, The Operation and Use of a Fast Integrated Circuit Comparator, Fairchild, 2/1966
(20) Application Note 939, High Speed Optically Coupled Isolators, Hewlett Packard, 11/72
(21) Endstufenschaltungen für die neuen Oszillografenröhren D14-250GH und D14-260GH, Technische Informationen für die Industrie, Valvo 761022
(22) JFET-Applications and Specifications, Teledyne Semiconductor, 1/1977
(23) Datenbuch Kleinleistungstransistoren, Telefunken 1977, B2D
(24) Analog Products Catalog, Vol. II, Intersil
(25) Kovács, F.: Hochfrequenzanwendungen von Halbleiterbauelementen, Franzis Verlag, München, 1977
(26) Hillebrand, F. u. Heierling, H.: Feldeffekttransistoren in analogen und digitalen Schaltungen, Franzis Verlag, München, 1972
(27) Discrete Semiconductor Guide, Intersil, Spezial Elektronik, S. 75 ff. u. 86 ff.
(28) 1978 Optoelectronics Designers Catalog, Hewlett Pakkard, 4/78

8.3 Bezugsquellen

1. plastronic GmbH, Einemstr. 5, 1000 Berlin 30, Tel. 0 30/2 13 10 67
   (L200, MK5009N, 2N708, 2N2222, 2N2894, XR2206/07/08, XR320, LF355/56/57 H/N, LH 0070-1H, V23020A27B321, ICL7106CPL, BF469, DL4530, Metallfilm-R)
2. Bürklin, Postfach 20 04 40, 8000 München 2, Tel. 0 89/55 53 21
   (ITT RPB 12 AD, ITT SBL 11, BF 469, Quarze, Metallfilmwiderstände, D3-10GJ, Hamlin 3903-313)
3. Dr. Günther Dohrenberg, Bayreuther Str. 3, 1000 Berlin 30, Tel. 0 30/2 13 80 43
   (µA78M..., µA79M..., µA78MG, µA733DC, 8505/8515/9595)
4. Spezial Elektronik KG, Hermann-Lingg-Str. 16, 8000 München 2, Tel. 0 89/53 03 87
   (Quarze, ICL7106CPL, ICM7226AIDL, ID101, 2N5912)
5. Analog Devices, Mozartstr. 17, 8000 München 2, Tel. 0 89/53 03 19
   (AD536 AJD, AD584 LH)
6. RTG distron, Behaimstr. 3, 1000 Berlin 10, Tel. 0 30/3 42 10 41
   (hp5082-4350, BF469, LH0070-1H, LF355/56/57 H/N)

Quellenangaben (Abbildungen):

Abb. 1.: Elektronik Nr. 11, 1977, S. 71, Egon Koch, Integrierter Spannungsregler ist einstellbar und kurzschlußfest

Abb. 4.: Datenblatt MK 5009, Mostek Corporation, CI 3004/476 Rev B

Abb. 5.: Datenblatt AD586, Analog Devices, C473-8-6/78

Abb. 7.: Datenblatt XR-2206C, Gonda Elektronik GmbH, Mai 1977, 9-77 Rev 3

Abb. 10.: „ICL 7106/7107 $3^1/_2$stelliger monolithischer A/D-Wandler", INTERSIL, Spezial Elektronik KG

Abb. 11.: Datenblatt AD536, Analog Devices, C414-8-8/77

Abb. 14.: Linear Databook, S. 3...18, National Semiconductor, 1978

Abb. 15.: Linear Integrated Circuits Data Book, S. 13...16, Fairchild, 1976

Abb. 20.: Datenblatt ICM7216 A-D, S. 6, Intersil, Spezial Elektronik KG

Abb. 21.: Datenblatt Am685, Advanced Micro Devices

Sachverzeichnis

A
Amplitudenmodulation 24, 28
Analogmultiplizierer 28, 30
Aufladung, statische 7
Auto-Zero-Kondensator 35

B
BIFET-Operationsverstärker 45
Breitbandverstärker-IC 48

C
Crestfaktor 32

D
Digital|multimeter 32
–-Schaltung 38
–voltmeter-IC 33
Doppeldiode 39, 49

E
ECL-IC 66
–, Vorverstärker mit 70
Effektivwert-Konverter-IC 36
Eingangsruhestrom 46

F
Frequenz|modulation 24
–teiler-IC 70
–umtastung 24
FSK-Modulation 24
Funktions|generator 23
–-IC 23, 24
–schaltung 25

H
Hold-Off-Schaltung 56
Horizontalverstärker 44

K
Kalibriergeneratorschaltung 20
Kalibrierung 15
Kaskadenschaltung 49

M
Mittelwert, Effektiv- 32, 36
–, Gleichricht- 32
Modulationsgenerator 23, 28

O
Offset 29, 31
Oszillator 15, 36
Oszilloskop 44
–, Aufbau des 57

Q
Quarzoszillator 65

R
Referenz|kondensator 35
–spannungs-IC 17, 29

S
SOA-Schaltung 10
Spannungsregler, Schaltung 12
Spannungsregler-IC 9
–, einstellbar 9
–, Fest- 9
Startschaltung 10
Strahlaustastung 57
Stromquelle, Konstant- 39
–, spannungsgesteuert 29

U
Universalzähler 30, 62
––IC 62
––Schaltung 68

V
VCO 28
Vertikalverstärker 44

X
X-Verstärker 44
–, Schaltung 53, 59

Y
Y-Verstärker 44
–, Schaltung 49, 59

Z
Zeitbasis, Schaltung 53

Weitere Franzis-Fachbücher zur Meßtechnik

Wie messe ich richtig?
Meßtechnik und Meßfehler in der Elektronik. Von Ing. Dieter **Nührmann.** 2., verbesserte Auflage. 220 Seiten mit 201 Abbildungen. Lwstr-kart. DM 32.–
ISBN 3-7723-5972-8
Messen allein kann leicht und einfach sein. Jedoch die elektronischen Einflüsse, die das Ergebnis beeinflussen (es „verfälschen") sollten immer gegenwärtig sein.
Deshalb wurden in diesem Buch die einzelnen Meßmethoden der Elektronik ausführlich beschrieben und auf mögliche Meßfehler stets aufmerksam gemacht.

TIS – Taschentabelle Integrierte Schaltungen
Digital. Von Heinrich **Müller.** 496 Seiten, kart. DM 28.–
ISBN 3-7723-6401-2
Mit über 2200 Integrierten digitalen Schaltungen und 536 Sockel-, Schaltungs- und Gehäuseabbildungen, in vielen Fällen mit einer Wahrheitstabelle. Der Band enthält außerdem 200 Typen verschiedener Leuchtanzeigen.

IST – Integrierte Schaltungen-Taschen-Tabelle
Von Heinrich **Müller.** – 2., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. 496 Seiten, 900 Abbildungen. Kart. DM 28.–
ISBN 3-7723-6042-4
Mit über 1900 Integrierten analogen Schaltungen und 900 Sockel-, Schaltungs- und Gehäuseabbildungen, die in dieser Tabelle mit ihren wichtigsten Kenndaten aufgenommen wurden. Die Hälfte davon sind Operationsverstärker.

Franzis-Verlag, München

101 • • • Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau (Böhm). 7. Aufl.

102 • • Elektronische Bauelemente – einfach geprüft im Hobby-Labor (Nührmann)

103 • • Die Wobbelsender (Sutaner). 4. Aufl.

104 • • Transistorsender für die Modellfernsteuerung (Bruß). 6. Aufl.

105 • • • Lautsprecher und Lautsprechergehäuse für HiFi (Klinger). 10. Aufl.

106 • • • Netztransformatoren und Drosseln (Klein). 5. Aufl.

107 • • Arbeits- und Stationspraxis im Funkverkehr (Gerzelka).

108 • • Amateurfunk-Superhets (Gerzelka). 4. Aufl.

109 • • • Transistor-Amateurfunkgeräte für das 2-m-Band (Reithofer). 5. Aufl.

110 • • Der Hobby-Elektroniker prüft seine Schaltungen selbst (Nührmann).

111 • • Zeigerinstrumente (Köhler). 4. Aufl.

112 • • Das Löten für den Praktiker (Strauß).

116 • Wie und wo kauft der Hobby-Elektroniker seine Bauteile? (Nührmann).

118 • Bauelemente für den Hobby-Elektroniker (Nührmann).

119 • • • Gedruckte Schaltungen (Sutaner/Wißler). 4. Aufl.

120 • • SSB-Transceiver-Technik (Gerzelka)

122 • • Der Hobby-Elektroniker plant seine Schaltungen selbst (Nührmann)

123 • • Arithmetisch-logische Rechenwerke im Experiment (Benda)

125 • Die Mechanik für den Hobby-Elektroniker (Nührmann)

126 • • • Betriebstechnik des Amateurfunks (Henske). 5. Aufl.

127 • • Schaltungsanwendungen der Optoelektronik (Oehmichen)

132 • • FM-Transceiver-Technik (Gerzelka)

134 • • Kleines Halbleiter-ABC (Büscher, Wiegelmann). 3. Aufl.

135 • • • ABC der Mikroprozessoren und Mikrocomputer (Pelka)

136 • Transistorisierte Netzgeräte (Strobel). 5. Aufl.

137 • • Meßgeräte mit IC's (Sehrig)

139 • • • Digitale Steuerungen von Modelleisenbahnen (Platerink)

142 • • Kleine HiFi-Stereo-Praxis (Knobloch)

144 • • • Amateurfunk-Morsetelegrafie CW (Pietsch)

146 • • Halbleiterspeicher (Bonerz)

147 • • • Fernseh-Service leicht gemacht (Lummer). 4. Aufl.

160 • • • Relais (Köhler). 2. Aufl.

168 • • Vademekum für den Funkamateur KW und UKW (Diefenbach/Geyrhalter). 7. Aufl.

171 • • • Halbleiter-Schaltungstechnik einfach dargestellt (Benda). 3. Aufl.

172 • • FET-Theorie (Dieleman)

173 • • Anwendungsbeispiele für den Mikroprozessor 6502 (Feichtinger)

174 • • Amateurfunkgeräte für das 70-cm-Band (Reithofer). 3. Aufl.

176 • • Integrierte Schaltungen für den Funkamateur (Birchel). 2. Aufl.

178 • • • • Schirmbilddiagnose und Messungen am Farbfernsehempfänger (Bochum/Dögl).

179 • • Digitale Elektronik für Anfänger (Kleemann). 4. Aufl.

180 • • • KW- und UKW-Sender für den Funkamateur (Diefenbach). 4. Aufl.

300 • • Kfz-Elektronik im Selbstbau (Jansen). 3. Aufl.

302 • • • Electronic-Pianos und Synthesizer (Tünker). 2. Aufl.

308 • • 20 Experimente mit optoelektronischen Schaltungen (Blaise).

309 • • Modell-Autorennbahn elektronisch gesteuert (Christoffers)

311 • • Lautsprechergehäuse-Baubuch (Klinger) 2. Aufl.

312 • Elektronische Gleisbildstellwerke (Jäger)

314 • • • Hobby-Schaltungen (Schreiber)

315 • Lautsprecher-Kits (Klinger)

331 • • • Verstärkerbau mit integrierten Schaltungen (Wirsum). 4. Aufl.

335 • • • Mischpulte und Mischpultmodule (Wirsum). 4. Aufl.

336 • • • Musikelektronik (Tünker). 4. Aufl.

337 • • • Elektronische Hilfsmittel für Film und Foto (Horst).

338 • • Experimente mit IS (Kleemann). 2. Auflage.

340 • • • Vom Flip-Flop zur Quarzuhr (Pelka). 3. Aufl.

341 • • Modelleisenbahn-Elektronik im Selbstbau (Jungmann). 3. Aufl.

342 • • • Elektronik in der Popmusik (Goddijn).

Sehrig, Meßgeräte mit IC's

137

Doppelband

RPB

Der Selbstbau von elektronischen Meßgeräten ist wieder in. IC's haben die Materialkosten gesenkt und den Arbeitsaufwand vermindert. Die erzielte Genauigkeit der Meßwerte ist mehr als ausreichend.
In diesem Band werden umfangreiche Schaltungen zum Nachbau angeboten. Außer der eigentlichen Aufbaubeschreibung, die auch gedruckte Schaltungen umfaßt, wird die Funktionsweise der verwendeten IC's beschrieben, um diese nicht als reine „Black box" funktionieren zu lassen. – Einige Schaltungen (Netzgerät, Digitalvoltmeter, Kalibriergenerator) eignen sich zum Nachbau durch Anfänger, während andere Schaltungen für Elektroniker mit einiger Selbstbauerfahrung gedacht sind.

Der Autor ist Cand.-Ing. der Fachrichtung Meßgeräte-Elektronik. Ihm standen für seine Versuche nur handelsübliche und preiswerte IC's zur Verfügung. Dieser Umstand konnte sich nur positiv auf die Schaltungsvorschläge auswirken.

ISBN 3-7723-1371-X